Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра вычислительной физики

В.В.Монахов, С.А.Курашова, А.В.Кожедуб, А.А.Королев, О.В.Огинец

Разбор заданий интернет-олимпиады школьников по физике, 2018/2019 учебный год

Учебно-методическое пособие

Санкт-Петербург

2020 г.

УДК 373.5:53.05
ББК 74.262.23

Рецензенты: доктор физ.-мат. наук, профессор С.Л.Яковлев,
канд. физ.-мат. наук, доцент В.И.Яковлева.

Печатается по решению учебно-методической комиссии физического факультета СПбГУ.

В.В.Монахов, С.А.Курашова, А.В.Кожедуб, А.А.Королев, О.В.Огинец.

Разбор заданий Интернет-олимпиады школьников по физике, 2018/2019 учебный год: Учебно-методическое пособие. – СПб: СПбГУ, 2020. – 34 с.: ил.

Учебно-методическое пособие предназначено для учащихся средней школы из 7–11 классов. В нём разбирается решение задач и порядок выполнения виртуальных физических экспериментов, предлагавшихся ученикам 7–11 классов на отборочных и заключительном (очном) туре олимпиады. 2018/2019 учебного года. Также может быть использовано учителями физики, студентами-физиками, изучающими предмет «Педагогика», и студентами педагогических вузов для подготовки школьников к олимпиадам по физике.

УДК 373.5:53.05
ББК 74.262.23

Оглавление

О заданиях итогового (очного) тура 2018/2019 учебного года

Особенностью олимпиады являются задания на основе моделей виртуальных лабораторий. В моделях задание состояло из нескольких частей: в моделируемой системе с помощью предоставленных инструментов требовалось измерить различные физические величины. При этом полное выполнение задания требовало очень сложных последовательностей действий и измерений, причём результат можно было получать самыми различными путями (последовательность правильных действий была недетерминированной, как в реальном эксперименте).

Для каждого участника генерировался *индивидуальный набор данных и соответствующих им ответов*, ответы проверялись автоматически со стороны сервера. Поэтому в дальнейших примерах приводится **по одному из огромного числа предлагавшихся участникам вариантов**. В случае неправильного или частично правильного ответа разрешались повторные отсылки исправленных результатов на сервер, но со *штрафными баллами*.

В моделях ответы сами по себе не имеют смысла — но их можно получить только в результате выполнения последовательности действий и измерений, причём в большинстве моделей — весьма нетривиальных, требующих творческого подхода. При этом, как правило, обеспечивается несколько разных вариантов решения проблемы, при наличии избыточного количества имеющихся инструментов и недетерминированной последовательности действий.

Сложность заданий рассчитывалась по процентам выполнения задания как отношение суммы набранных участниками баллов за задание к максимально возможной сумме баллов за выполнение задания участниками (если бы все они получили за задание максимальный балл).

Сложность заданий является характеристикой, зависящей от способностей участников. Для “сильного” состава участников задания, являющиеся очень сложными для обычных школьников, окажутся средней или низкой сложности.

Анализ результатов участников заключительного тура всероссийской олимпиады по физике, участвовавших в очном туре интернет-олимпиады, показал, что баллы, набранные на заключительном (очном) туре интернет-олимпиады, ***примерно соответствуют баллам заключительного этапа всероссийской олимпиады***. Во всех моделях наиболее сложные части заданий по сложности были ***уровня международной олимпиады по физике*** **(IPhO)**.

В олимпиаде присутствовали теоретические задания, однако имеется много олимпиад, проверяющих теоретические способности учащихся. Поэтому в интернет-олимпиаде основное внимание уделялось **проверке способности практического использования имеющихся знаний при проведении эксперимента** (виртуального, но по возможности копирующего современный реальный эксперимент, использующий компьютерное управление и цифровые измерительные приборы).

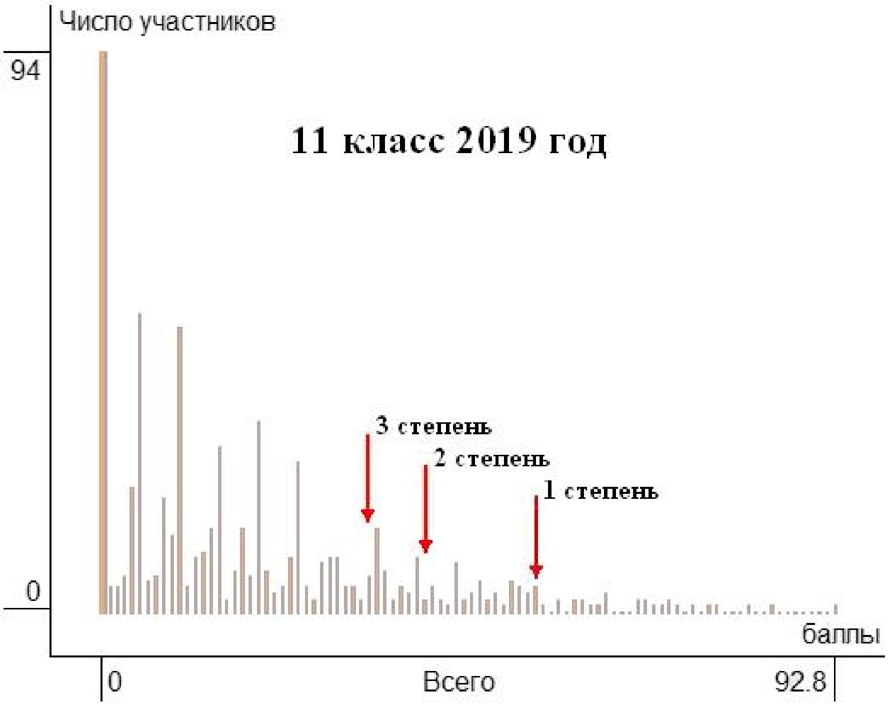
Таким образом, *олимпиада проверяет способности в том диапазоне сложности, который не проверяется ЕГЭ, и проверяет умения в области экспериментальной деятельности, которые также не проверяются ЕГЭ — и в редких случаях проверяется в олимпиадах РСОШ.*

О заданиях для 11 класса

В очном туре приняло участие 607 учащихся 11-х классов на 46 площадках в России и 6 площадках в Беларуси, Казахстане, Вьетнаме и на Кипре. Все задания были абсолютно новыми — как модели, так и теоретические задачи не имели аналогов в олимпиадах предыдущих лет, в том числе в олимпиадах других вузов, всероссийских и международных. На гистограмме стрелками показаны баллы, соответствующие порогам для дипломов.

№	Задание	Процент выполнения участниками	Сложность
1	модель: Теплоемкость и другие параметры жидкости (20 баллов)	26 %	высокая
2	задача: Маятник в электрическом поле (15 баллов)	23 %	высокая
3	модель: Эксперимент в жидкости — параметры грузов и две линейки (15 баллов)	14 %	очень высокая
4	задача: Эксперименты с батарейками и лампочками (20 баллов)	3.4 %	чрезвычайно высокая
5	модель: Параметры линз и источника света (20 баллов)	8 %	чрезвычайно высокая
6	модель: Схема с пятью впаянными резисторами (20 баллов)	23 %	высокая
7	модель: Грузы на резинке (20 баллов)	7 %	чрезвычайно высокая

На рисунках ниже показано распределение числа участников по полученным ими баллам и положение порогов для получения дипломов в заключительном этапе олимпиады 2018/2019 года.



О заданиях для 7 класса

№	Задание	Процент выполнения участниками	Сложность
1	модель: Тележки на рельсе (25 баллов)	16 %	очень высокая
2	модель: Эксперимент в жидкости — параметры грузов и линейки (25 баллов)	2.5 %	чрезвычайно высокая
3	модель: Параметры жидкости (20 баллов)	6.4 %	чрезвычайно высокая
4	задача: Домик под водой (20 баллов)	18 %	высокая (первая часть — средней сложности)
5	модель: Грузы на резинке (20 баллов)	2.1 %	чрезвычайно высокая
6	задача: Три пружины на стержне (20 баллов)	3.6 %	чрезвычайно высокая

Замечание: задания оказались слишком сложными для участников, на будущее требуется уменьшить число заданий с чрезвычайно высокой сложностью.

О заданиях для 8 класса

№	Задание	Процент выполнения участниками	Сложность
1	модель: Тележки на рельсе (25 баллов)	24 %	высокая
2	модель: Теплоемкость и другие параметры жидкости (20 баллов)	13 %	очень высокая
3	задача: Путешествие к центру Земли (15 баллов)	10 %	очень высокая
4	модель: Эксперимент в жидкости — параметры грузов и линейки (25 баллов)	3 %	чрезвычайно высокая
5	задача: Два юных физика усовершенствуют микроскоп (20 баллов)	0 %	слишком высокая
6	модель: Шесть резисторов (20 баллов)	1.2 %	чрезвычайно высокая

О заданиях для 9 класса

№	Задание	Процент выполнения участниками	Сложность
1	задача: Катящийся шарик (20 баллов)	20 %	высокая
2	модель: Эксперимент в жидкости — параметры грузов и линейки (25 баллов)	10 %	очень высокая
3	модель: Теплоемкость и другие параметры жидкости (20 баллов)	17 %	высокая
4	задача: Два юных физика на уроке биологии (20 баллов)	1.9 %	чрезвычайно высокая
5	модель: Схема с пятью впаянными резисторами (20 баллов)	16 %	высокая
6	модель: Грузы на резинке (20 баллов)	5.2 %	чрезвычайно высокая

О заданиях для 10 класса

№	Задание	Процент выполнения участниками	Сложность
1	модель: Эксперимент в жидкости — параметры грузов и две линейки (15 баллов)	16 %	высокая
2	модель: Теплоемкость и другие параметры жидкости (20 баллов)	22 %	высокая
3	задача: Барсик на рыбалке (15 баллов)	8 %	чрезвычайно высокая
4	модель: Параметры линз и источника света (20 баллов)	1.8 %	чрезвычайно высокая
5	модель: Сопротивления впаянных резисторов (20 баллов)	22 %	высокая
6	задача: Лабиринт в джунглях (20 баллов)	1.8 %	чрезвычайно высокая

В данном пособии сначала проводится пример разбора двух типичных заданий дистанционного этапа — одной модели виртуальной лаборатории и одной теоретической задачи. После чего разбираются задания заключительного (очного) тура, вызвавшие наибольшие затруднения или наибольшее количество вопросов при проведении апелляций:

1. 7–9 классы модель: Эксперимент в жидкости — параметры грузов и линейки (25 баллов);
2. 8 класс задача: Два юных физика усовершенствуют микроскоп (20 баллов);
3. 10, 11 класс модель: Параметры линз и источника света (20 баллов);
4. 11 класс модель: Схема с пятью впаянными резисторами (20 баллов);
5. 11 класс задача: Эксперименты с батарейками и лампочками (20 баллов).

1. Разбор типичных заданий дистанционного (отборочного) этапа

1.1. Олимпиада, модель: Наклонный рельс с лебёдкой — ускорение бруска, сила трения и КПД системы (20 баллов). Отборочный тур 1, задание 6, 11 класс

Имеется наклонный рельс с лебёдкой и датчиком натяжения нити, весы, гири, линейки и брусок.

Брусок можно поставить на рельс. После чего можно присоединить к бруску нить от лебёдки — потянуть за петельку нити, выходящей из отверстия в правой стенке рельса, и присоединить её к крючку бруска. Электронный динамометр объединён с лебёдкой, они включаются кнопкой "Старт" и выключаются кнопкой "Стоп". Колесо лебёдки крутится с постоянной угловой скоростью. У бруска имеется трение о рельс. Масса гирь указана в граммах.

Найдите с точностью не хуже 0.5%:

- величину ускорения a0, с каким бы двигался брусок, если бы его, не присоединяя к лебёдке, поставить в середине рельса и отпустить **если бы не было трения**;
- силу трения F, действующую на брусок при подъёме бруска по рельсу;
- величину ускорения a1, с каким будет двигаться брусок, если его поставить в середине рельса и отпустить в реальной ситуации — когда присутствует трение;
- КПД системы при подъёме бруска по рельсу (потери энергии в лебёдке не учитывать).

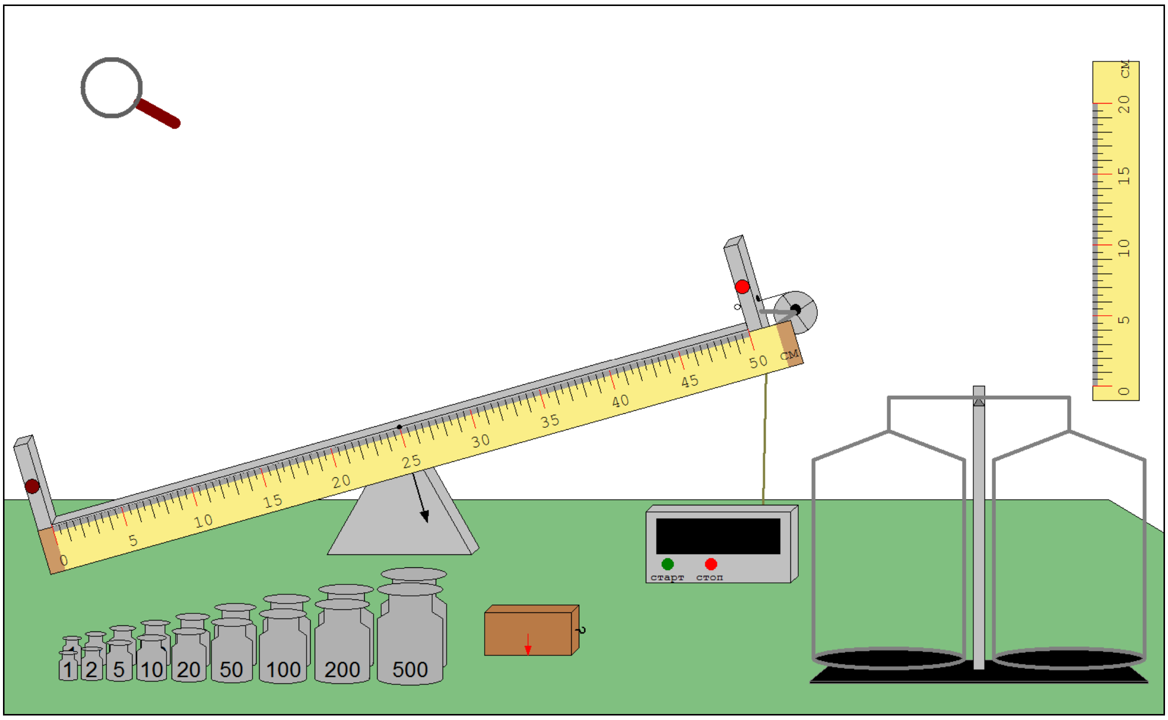


Рис.1.

Решение.

1. Найдем величину ускорения a_0, с каким бы двигался брусок, если бы его, не присоединяя к лебёдке, поставить в середине рельса и отпустить **если бы не было трения.** В этом случае на брусок действуют две силы: сила тяжести, направленная вниз и сила реакции опоры, направленная перпендикулярно рельсу. Запишем второй закон Ньютона для бруска: $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$, в проекции на ось, направленную вдоль рельса получится $mg\sin\alpha = ma$, или:

$$a = g\sin\alpha, \tag{1}$$

α — угол рельса с горизонтом, который определяем измеряя гипотенузу и катеты прямоугольного треугольника, образованного рельсом (рис. 2).

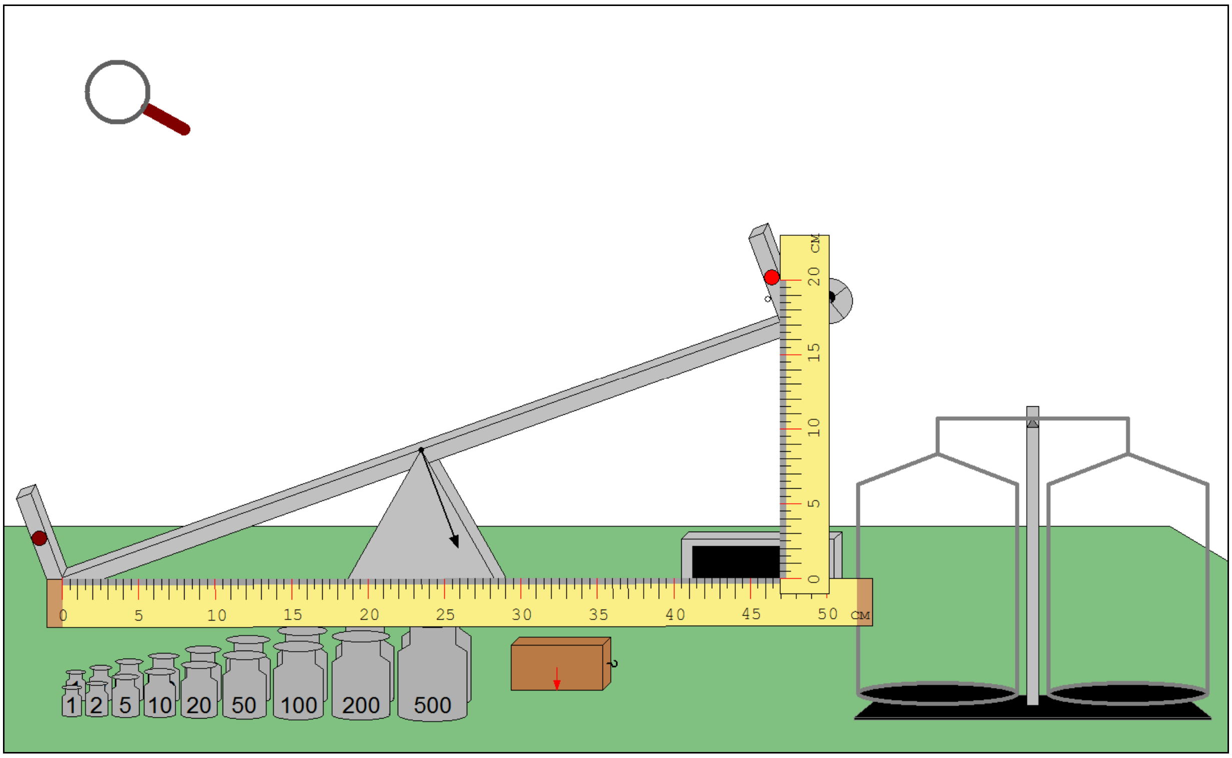


Рис. 2.

2. Теперь найдем силу трения скольжения $F_{тр}$, действующую на брусок при подъёме бруска по рельсу: второй закон Ньютона при наличии силы тяги и силы трения выглядит следующим образом: $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} + \vec{F}_{тяги} = m\vec{a}$. Брусок движется вверх вдоль рельса равномерно. В проекции на ось, направленную вверх вдоль рельса получим $F_{тяги} - F_{тр} - mg\sin\alpha = 0$, то есть

$$F_{тр} = F_{тяги} - mg\sin\alpha. \tag{2}$$

Для того чтобы по формуле (2) найти силу трения надо на рычажных весах взвесить брусок и записать показания индикатора, отражающее значение силы (рис. 3 и 4).

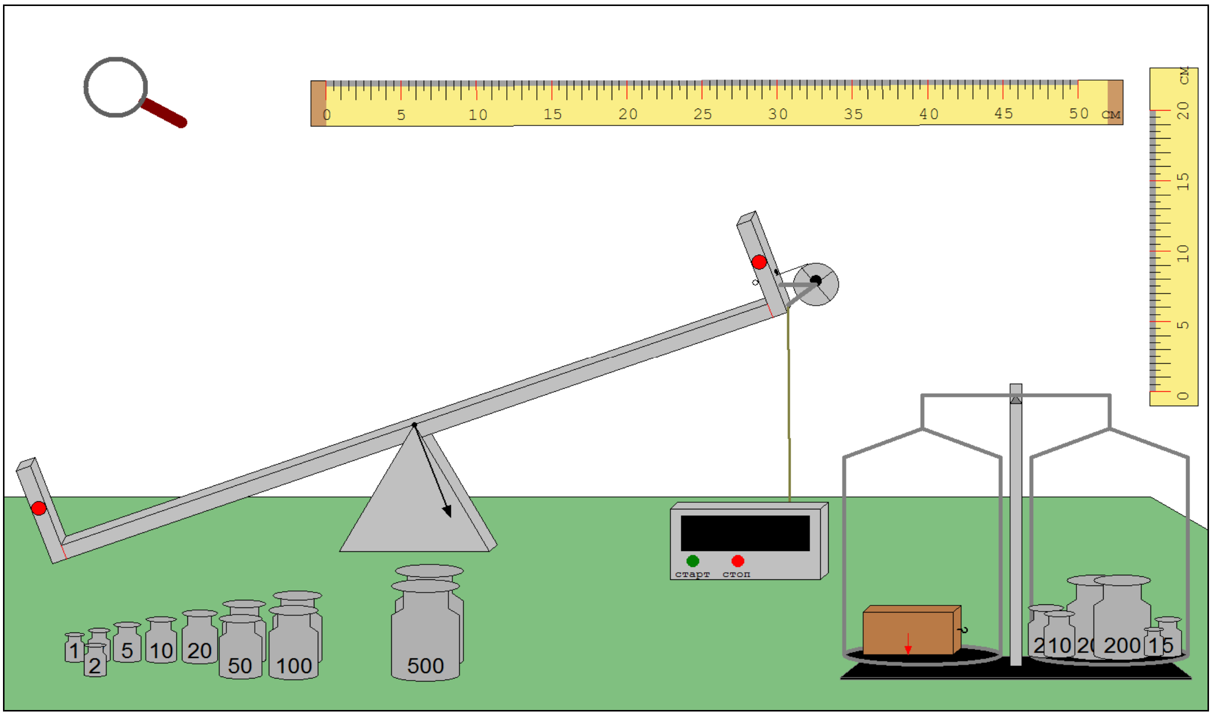


Рис.3.

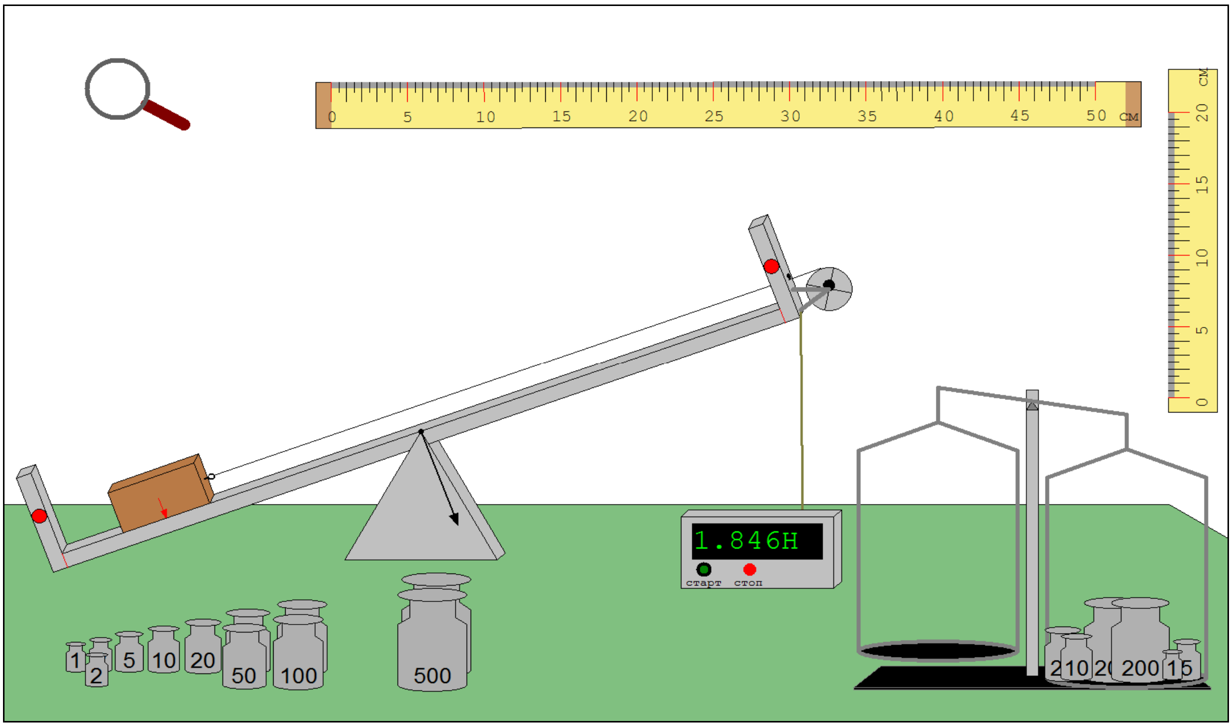


Рис.4.

3. Для того чтобы определить величину ускорения a_1, с каким будет двигаться брусок, если его поставить в середине рельса и отпустить в реальной ситуации — когда

присутствует трение, запишем второй закон Ньютона для этого случая $m\vec{g}+\vec{N}+\vec{F}_{тр}=m\vec{a}$. Его проекция на ось, направленную вдоль рельса вниз: $ma=mg\sin\alpha-F_{тр}$. Учитывая что $F_{тр}=\mu N$, а проекция суммы сил на ось, перпендикулярную рельсу, равна нулю, получаем $N=mg\cos\alpha$.

В итоге для ускорения получим: $a=g\cdot(\sin\alpha-\mu\cdot\cos\alpha)$. Значение μ выразим через $F_{тр}$ — подсчитанную в пункте 2: $\mu=\dfrac{F_{тр}}{N}=\dfrac{F_{тр}}{mg\cos\alpha}$. Таким образом,

$$a=g\cdot\left(\sin\alpha-\frac{F_{тр}}{mg}\right). \tag{3}$$

4. Наконец, находим КПД системы при подъеме бруска по рельсу: $\eta=\dfrac{A_{полезн}}{A_{затр}}\cdot 100\%$.

Брусок затаскиваем на высоту $h=l\sin\alpha$, где l — длина наклонной плоскости (рельса) поэтому $A_{полезн}=mgl\sin\alpha$. Затраченная работа больше полезной на работу против силы трения: $A_{затр}=mgl\sin\alpha+F_{тр}l=mgl\sin\alpha+\mu mgl\cos\alpha$. В итоге для КПД получаем:

$$\eta=\frac{A_{полезн}}{A_{затр}}\cdot 100\%=\frac{mgl\sin\alpha}{mgl\sin\alpha+\mu mgl\cos\alpha}\cdot 100\%=\frac{1}{1+\mu\cdot ctg\alpha}\cdot 100\%. \tag{4}$$

Теперь осталось только аккуратно измерить стороны треугольника с рельсом в качестве гипотенузы взвесить брусок на рычажных весах и записать показание индикатора, отображающее силу натяжения и не менее аккуратно рассчитать значения искомых величин по формулам (1)–(4).

1.2. Стеклянный лабиринт (20 баллов). Отборочный тур 1, задание №6, 7 класс

Однажды тёмной ночью Попугай, Мартышка и Удав нашли в джунглях стеклянный лабиринт из узких параллельных одинаковых коридоров. Длина стены лабиринта А оказалась больше длины Удава. Друзья измерили скорость Удава, она оказалась равна V=0.25 Попугаев в секунду. На Удава на расстоянии одного Попугая от головы и кончика хвоста надели велосипедные фонарики

Яркий Луч V002R, и Удав отправился исследовать лабиринт. Мартышка и Попугай наблюдали снаружи, они включили секундомер и начали отсчёт времени, когда Удав начал вползать в лабиринт (смотрите рисунок). В первый раз огоньки фонариков оказались друг напротив друга в момент времени t_1=148 с, а расстояние между точками, где фонарики "встретились" в первый и во второй раз, оказалось равно Z=18 Попугаям.

Вычислите:

- в какой момент времени t_2 огоньки фонариков окажутся рядом во второй раз;
- длину Удава в Попугаях L;
- длину стены лабиринта в Попугаях A;
- интервал времени между первым и вторым совпадением огоньков Dt.

Ответы получите и вводите с точностью не хуже 0.1%. Шириной коридоров по сравнению с длиной стены A можно пренебречь.

Введите ответ:

t_2= 268 с

L= 14 Попугаев

A= 30 Попугаев

Dt= 120 с

Решение.

1. Введём обозначения: a — длина коридора лабиринта в Попугаях, L — длина Удава в Попугаях, V — Скорость Удава в Попугаях в секунду.

Выразим расстояния, на которые голова Удава продвинулась в лабиринте до первой и до второй встречи фонариков:

$$A+\frac{L}{2}=Vt_1, \tag{5}$$

$$2A+\frac{L}{2}=Vt_2\ . \tag{6}$$

Длина стенки лабиринта в Попугаях

$$2\left(\frac{L}{2}\text{-}1\right)+z=A\ . \tag{7}$$

Исключая A из (5) и (7), определяем L:

$$L=\frac{2}{3}\left(Vt_1+2-z\right)\ =14\ \textit{Попугаев}\ . \tag{8}$$

Из (5) и (7) определяем A:

$$A = \frac{2}{3}Vt_1 - \frac{2}{3} + \frac{z}{3} = 30 \text{ Попугаев}. \qquad (9)$$

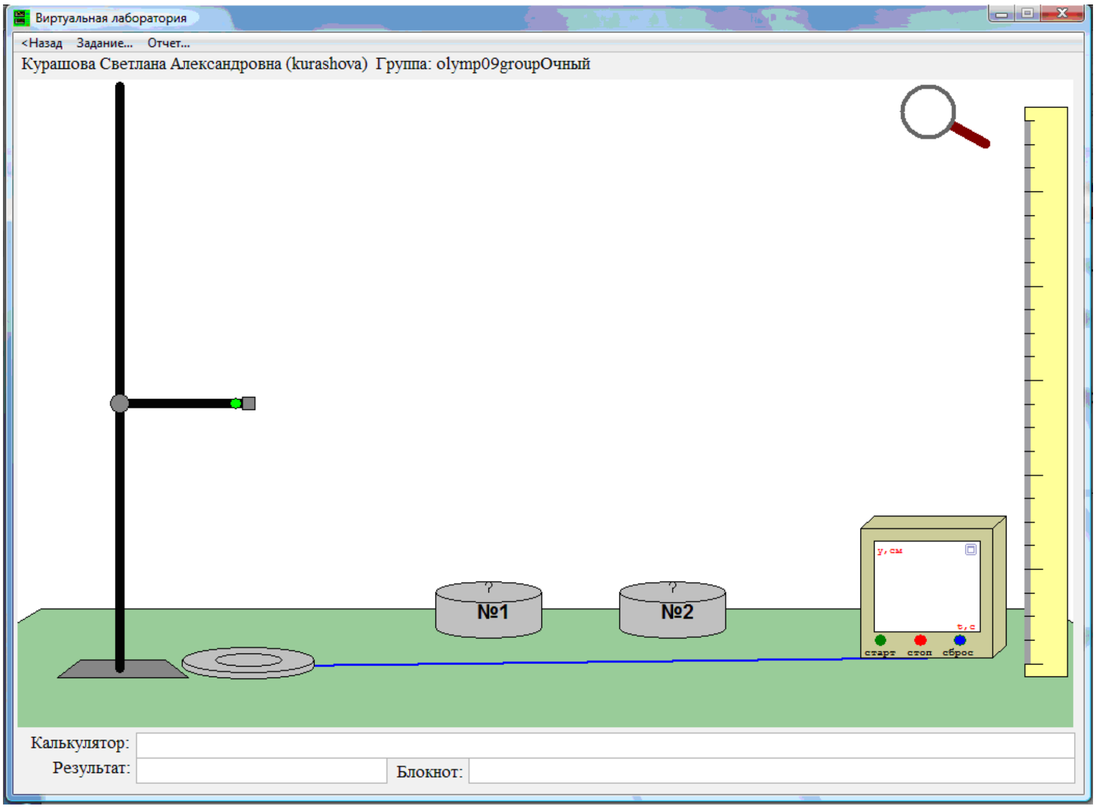
Из (6), (8) и (9) определяем $t_2 = \frac{1}{V}\left(2A + \frac{L}{2}\right) = 268\,c$.

2. Между первым и вторым совпадением огоньков голова удава продвинется на A,

$$Dt = \frac{A}{V} = 120\,c.$$

2. Разбор вызвавших наибольшее число вопросов заданий заключительного (очного) тура

2.1. Олимпиада, модель: Эксперимент в жидкости — параметры грузов и линейки (25 баллов). Очный тур, 7–9 классы



В системе имеются два цилиндрических груза одинакового размера, но разной массы. Масса первого груза M1=48 г.

Эксперимент проводится в жидкости, поэтому на грузы действует сила трения $\mathbf{F}_{\mathbf{тр}} = -k\mathbf{v}$, пропорциональная скорости движения **v**. Из-за чего почти сразу после начала движения каждый груз начинает двигаться с постоянной скоростью. Ускорение свободного падения g=9.8 м/с^2, коэффициент k зависит только от площади поперечного сечения груза и вязкости жидкости, архимедовой силой можно пренебречь.

Найдите с точностью 0.1%:

- величину (абсолютное значение) установившейся скорости v_1 падения груза №1;

- величину (абсолютное значение) установившейся скорости v_2 падения груза №2;
- массу M_2 груза №2;
- цену L1 самых больших делений линейки (в см);
- цену L3 самых малых делений линейки (в мм).

Занесите результаты в отчёт и отошлите его на сервер.

Грузы можно закреплять электромагнитом в лапке штатива — для этого необходимо поднести груз к лапке штатива и отпустить.

Если груз закреплен в лапке штатива, нажатие на зелёную кнопку, расположенную на штативе, выключает электромагнит и отпускает груз из захвата.

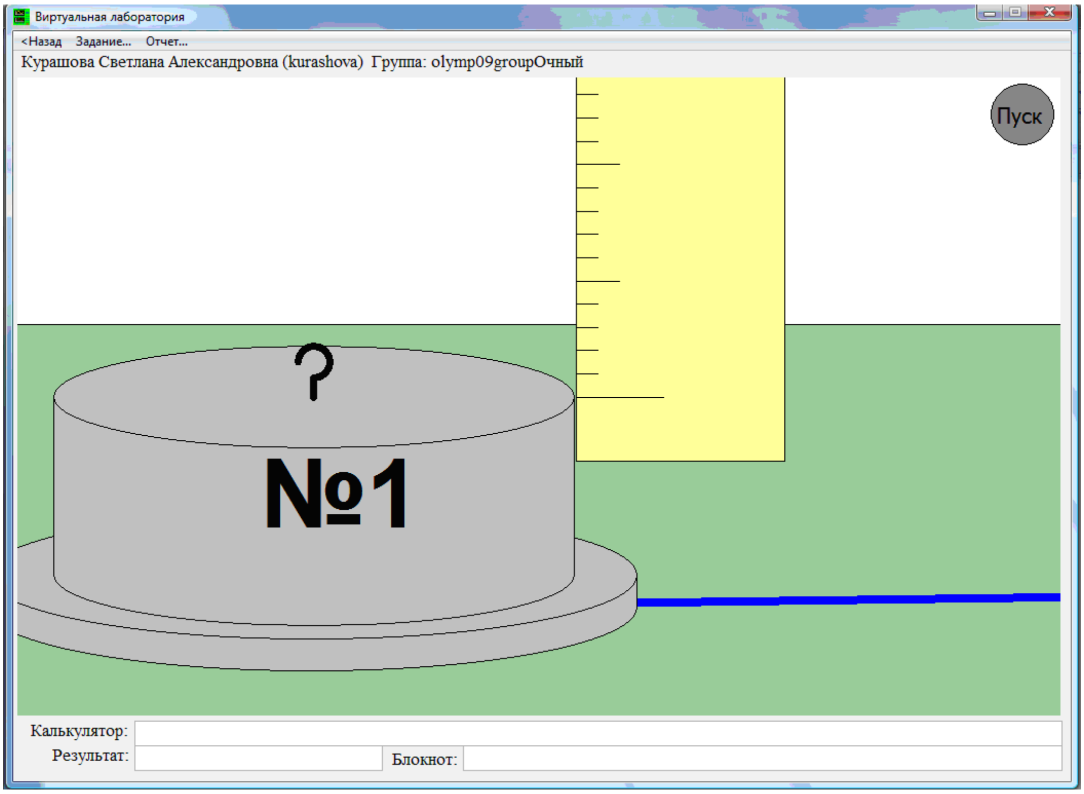
Горизонтальную направляющую штатива можно перемещать мышью за лапку (зажим). Под лапкой штатива расположен эхолот, подсоединённый к прибору, показывающему зависимость координаты расположенного над эхолотом тела от времени. Увеличить экран прибора можно либо с помощью увеличительного стекла, либо щёлкнув мышью по значку максимизации в правом верхнем угу прибора. Для того чтобы посмотреть участок графика в увеличенном масштабе, необходимо выделить его мышью слева направо и сверху вниз. Выделение участка графика в противоположном направлении возвращает первоначальный масштаб.

Задание возможно переделывать, но за повторные попытки начисляется до 5 штрафных баллов.

Комбинация клавиш Ctrl-C — копирование выделенной строки в буфер обмена. Комбинация клавиш Ctrl-V — вставка данных из буфера обмена.

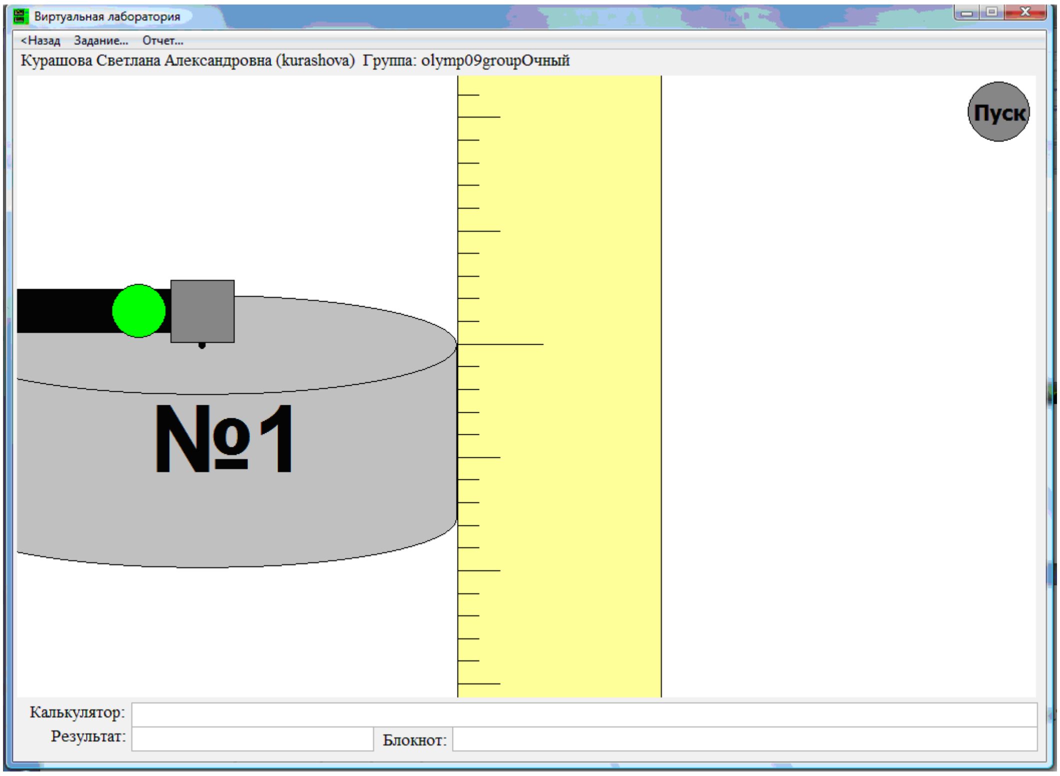
Решение.

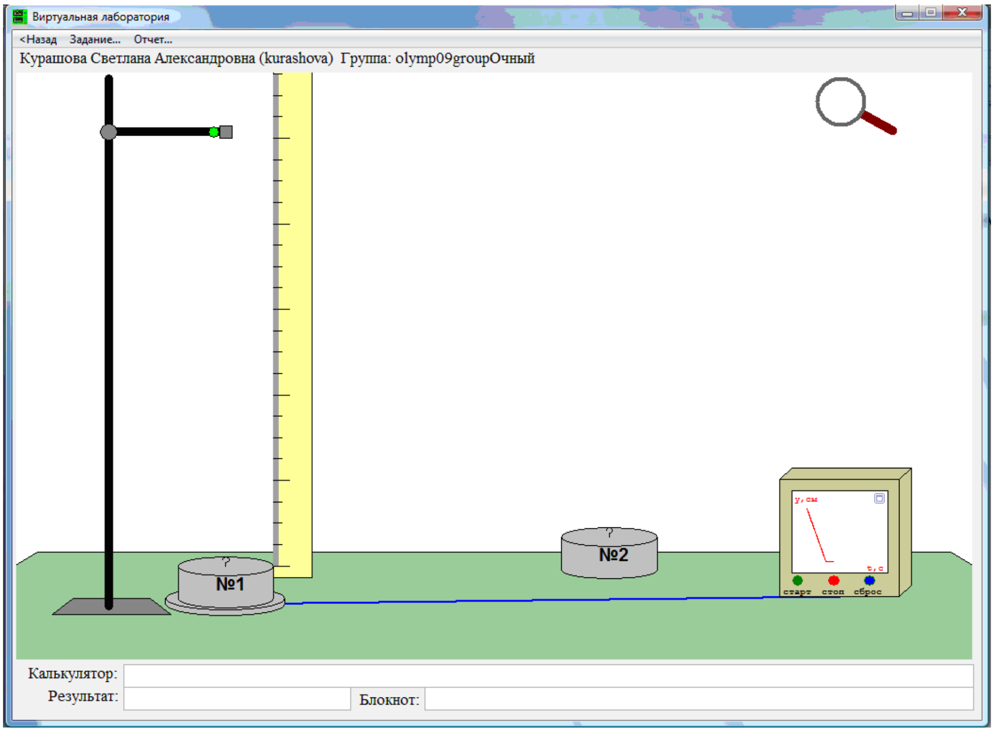
Поднимаем лапку штатива достаточно высоко, закрепляем груз 1, регулируем длину лапки, чтобы груз падал точно на датчик.



Когда груз стоит на датчике, с помощью лупы выставляем нижний край шкалы линейки по верхнему краю груза. Эллипс виден целиком, определить координату края легче.

Закрепляем груз на штативе, под лупой подбираем высоту лапки, чтобы координата верхнего края груза равнялась целому числу делений шкалы линейки. В данном случае 5 самых больших и 100 самых маленьких делений.

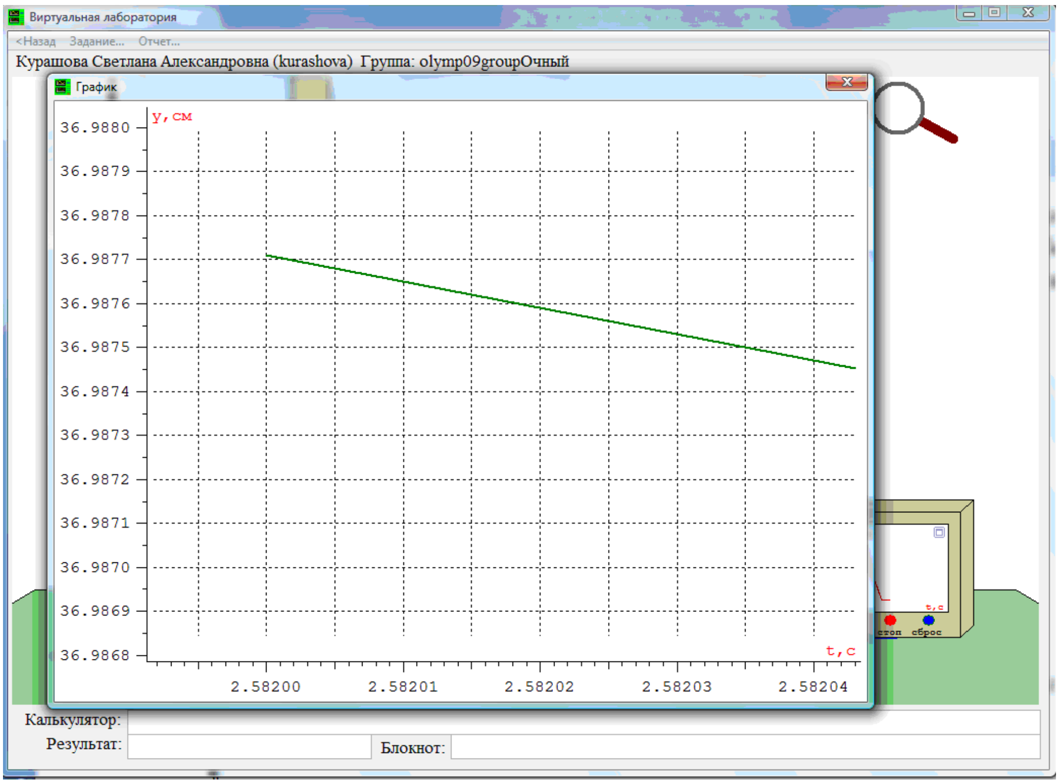




Включаем датчик нажатием кнопки “Старт”, отпускаем груз, после падения груза выключаем датчик, и увеличиваем его экран, нажимая на значок в верхнем правом углу.

Определение цены деления линейки

С помощью мыши сильно увеличиваем участки графика, определяем начальную и конечную координаты нижней точки груза, чтобы не думать о погрешностях и экономить время, работаем с явным превышением необходимой точности — возможности модели это легко позволяют.



Для определения цены деления линейки нам не принципиально постоянство скорости движения груза, поэтому просто берём начальную и конечную точки.

$$Y_1 = 36.9877 \ \ см\ ,$$

$$Y_2 = 0.5000 \ \ см,$$

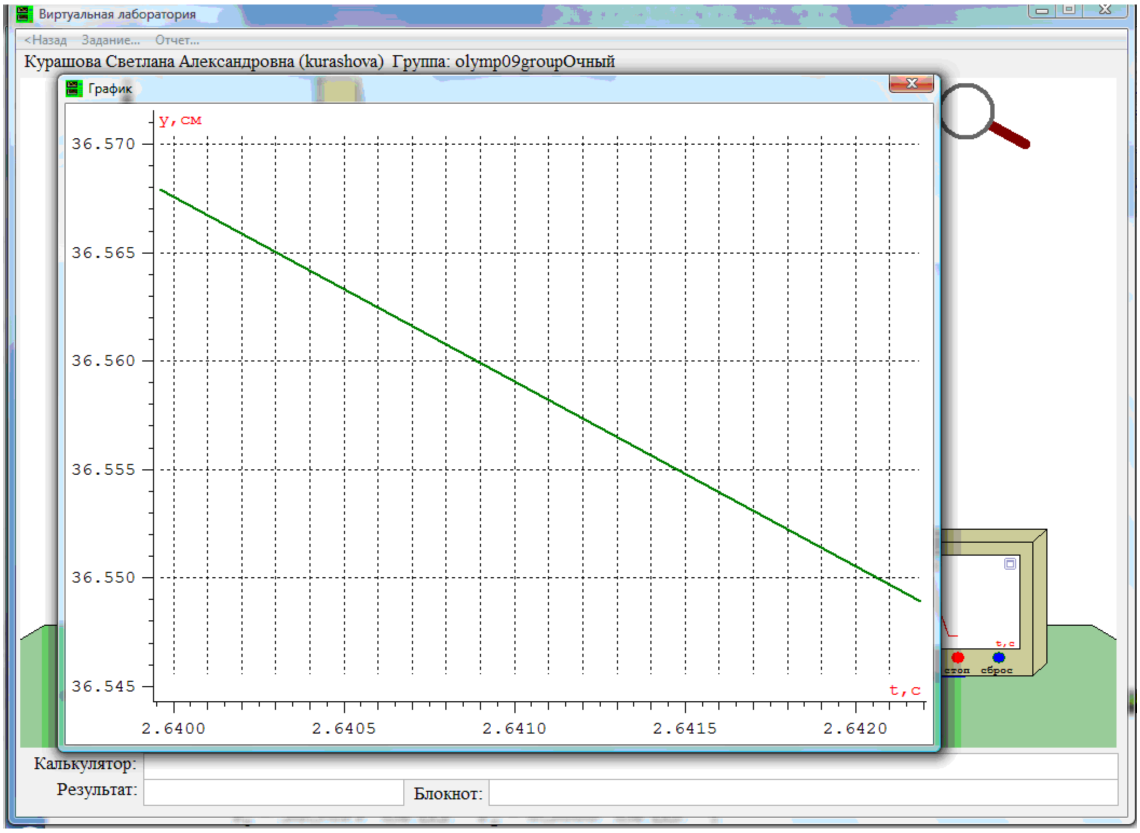
$$L_1 = \frac{36.9877 - 0.5000}{5} = 7.29754\,см,$$

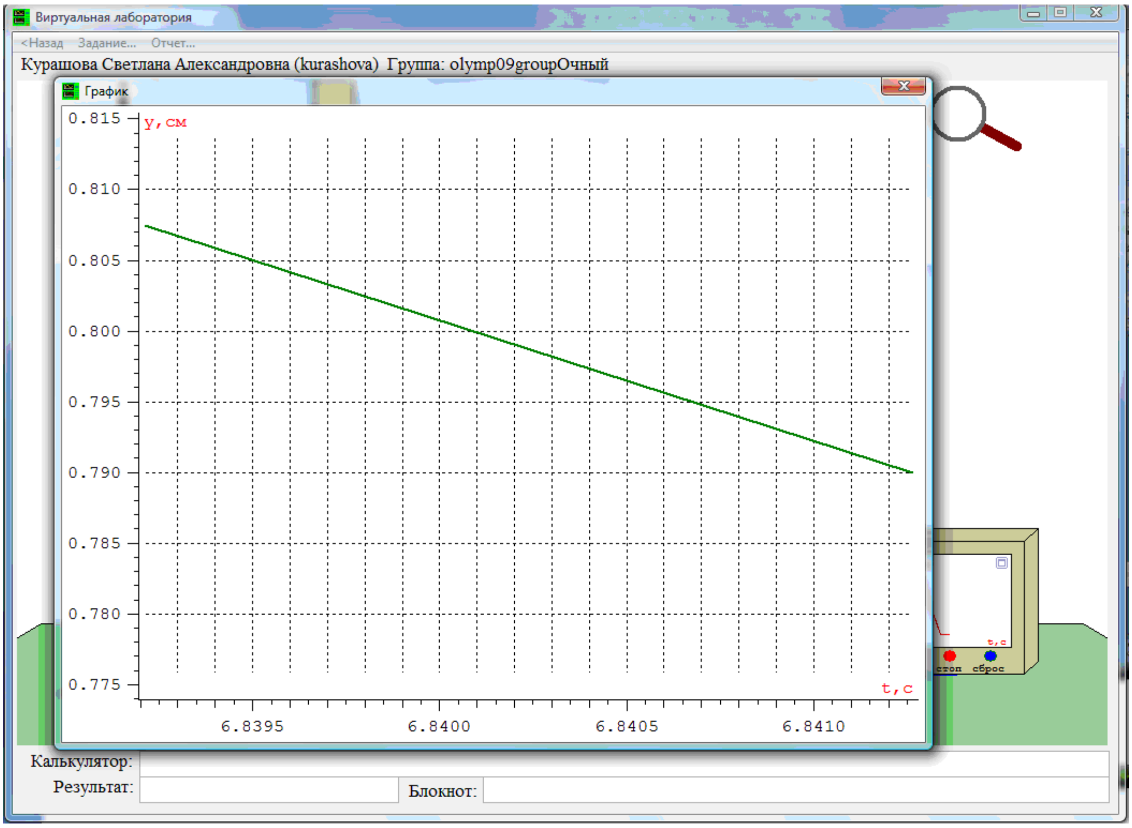
$$L_3 = \frac{36.9877 - 0.5000}{100} \cdot 10 = 3.64877\,мм.$$

Заметим, что линейкой мы измеряли координаты верхней точки груза, а по графику определяем координаты нижней точки груза, на разность координат это не повлияет, а измерять линейкой так удобнее.

Определение скорости падения грузов

Теперь нам необходимо работать только с тем участком графика, где груз двигался с постоянной скоростью. Выбираем точки в начале и в конце этого участка и опять сильно увеличиваем масштаб.





$$Y_3 = 36.565 \ \ см \ \ , Y_4 = 0.800 \ \ см,$$

$$t_3 = 2.6403 \ \ с, \qquad t_4 = 6.8401 \ \ с.$$

Скорость падения груза 1:

$$V_1 = \frac{36.565 - 0.800}{6.8401 - 2.6403} = 8.51588 \ \ см/с.$$

Аналогично определяем скорость падения груза 2:

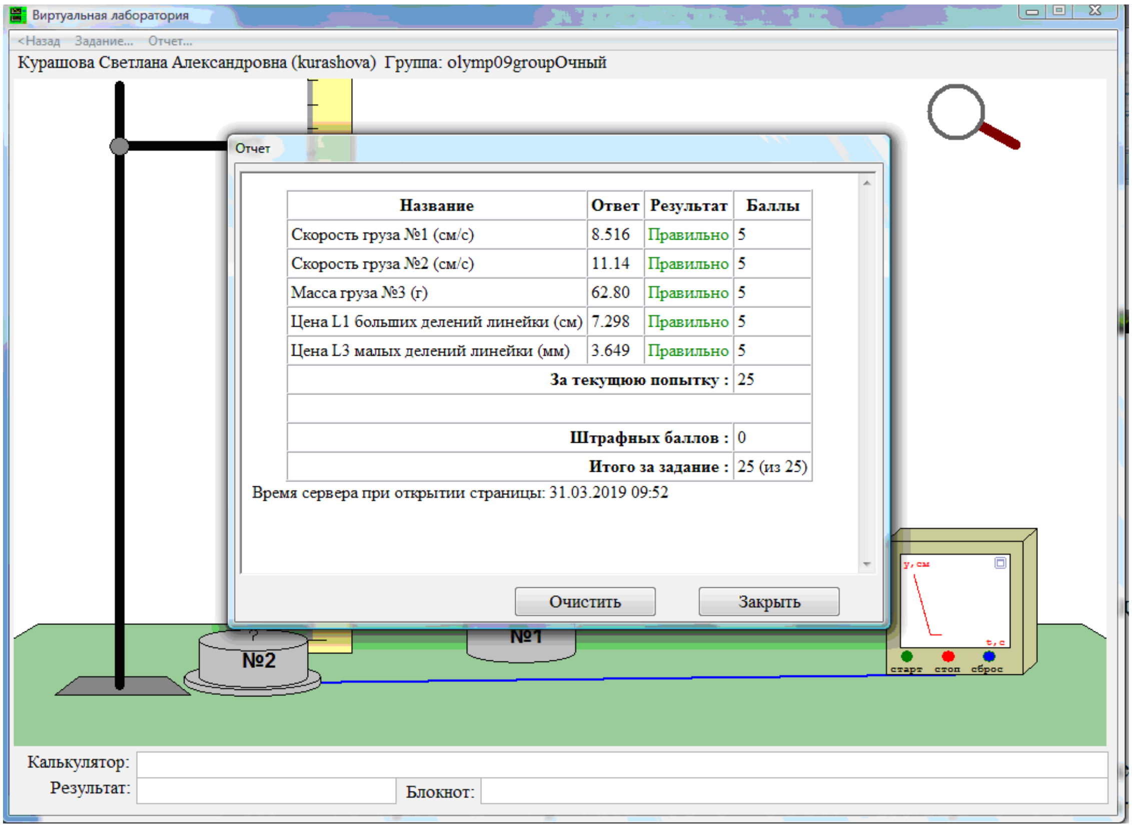
$$V_2 = \frac{35.512 - 0.736}{5.12103 - 1.9998} = 11.14176 \ \ см/с.$$

Вычисление массы груза 2.

При установившейся скорости груза сумма сил, действующих на него, равна нулю. Но $mg = kV$, поэтому

$$m_2 = m_1 \frac{V_2}{V_1} = \frac{11.14176}{8.51588} \cdot 48 = 62.801 \ г.$$

Нам нужно вводить ответы с точностью 0.1%, достаточно округлить результаты до четырёх значащих цифр.



2.2. Два юных физика усовершенствуют микроскоп (20 баллов).

Очный тур, задание 5, 8 класс

Известно, что в процессе эксплуатации батарейки её выходное напряжение без подключения внешней нагрузки практически не изменяется, а внутреннее сопротивление, которое можно считать включенным последовательно с источником напряжения, растёт до очень большого. На уроке химии нужно было подсветить предметный столик микроскопа. Два юных физика решили так использовать батарейки, чтобы яркость лампочки всё время была максимально возможной. У них в распоряжении было две одинаковые батарейки с ЭДС =11.3 В, одна лампочка подходящей мощности с внутренним сопротивлением R=16.9 Ом, провода с ничтожно малым сопротивлением и амперметр, сопротивлением которого также можно пренебречь. Определите:
1) Какой ток J тёк в лампочке в момент, когда пришлось изменить схему.
2) Какую мощность P потребляла лампочка в момент, когда пришлось изменить схему.
3) Каким оказался минимальный коэффициент полезного действия $КПД_{1MIN}$, с которым работала первая использованная схема.
4) Какая мощность P1 терялась (рассеивалась) в одной батарейке сразу после изменения схемы.
Ответы вводите с точностью до сотых.

Введите ответ:

Ток J= 0.45 А

Мощность P= 3.36 Вт

$КПД_{1MIN}$ = 33.33 %

Мощность P1 = 0.84 Вт

Решение.

При малом сопротивлении батареек максимальный ток, в лампочке можно получить, собрав схему 1.

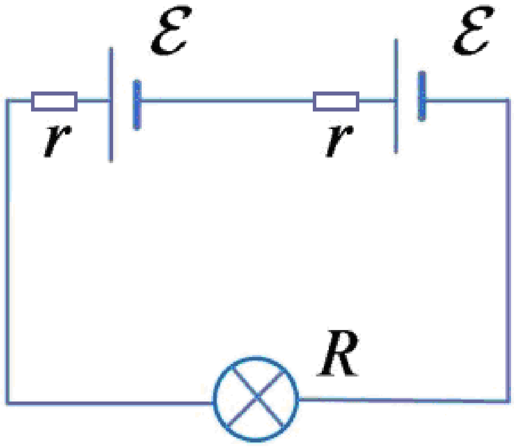


схема 1

$$J_1 = \frac{2\mathcal{E}}{2r+R} = \frac{\mathcal{E}}{r+R/2}\,. \tag{10}$$

При увеличении сопротивления батарейки приходится переходить к схеме 2.

$$J_2 = \frac{\mathcal{E}}{r/2+R}\,. \tag{11}$$

Из (10) и (11) определяем, что изменить схему нужно будет, когда I_2 окажется больше I_1 т.е. при

$$r = R\;. \tag{12}$$

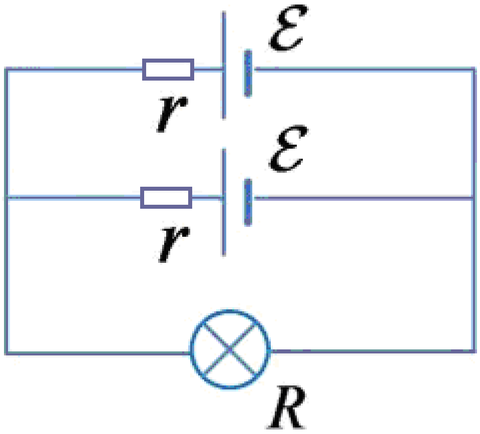


схема 2

1. Согласно (10) и (12), в момент, когда пришлось изменить схему, в лампочке тёк ток

$$J = \frac{\mathcal{E}}{R+R/2} = 0.45\ A\,.$$

2. Лампочка потребляла мощность $P = \left(\frac{\mathcal{E}}{R+R/2}\right)^2 R = \frac{4\mathcal{E}^2}{9R} = 3.36\ Bm\,.$

3. Минимальный КПД, с которым работала первая схема, был при $r = R$, согласно (10) $КПД_{\min} = \frac{J^2 R}{J^2 3R} 100\% = 33.33\ \%$.

4. Сразу после изменения схемы в одной батарейке течёт ток $J_3 = \frac{1}{2}\frac{\mathcal{E}}{R + R/2}$, и рассеивается мощность $P_1 = \frac{\mathcal{E}^2}{9R} = 0.84\,Вт.$

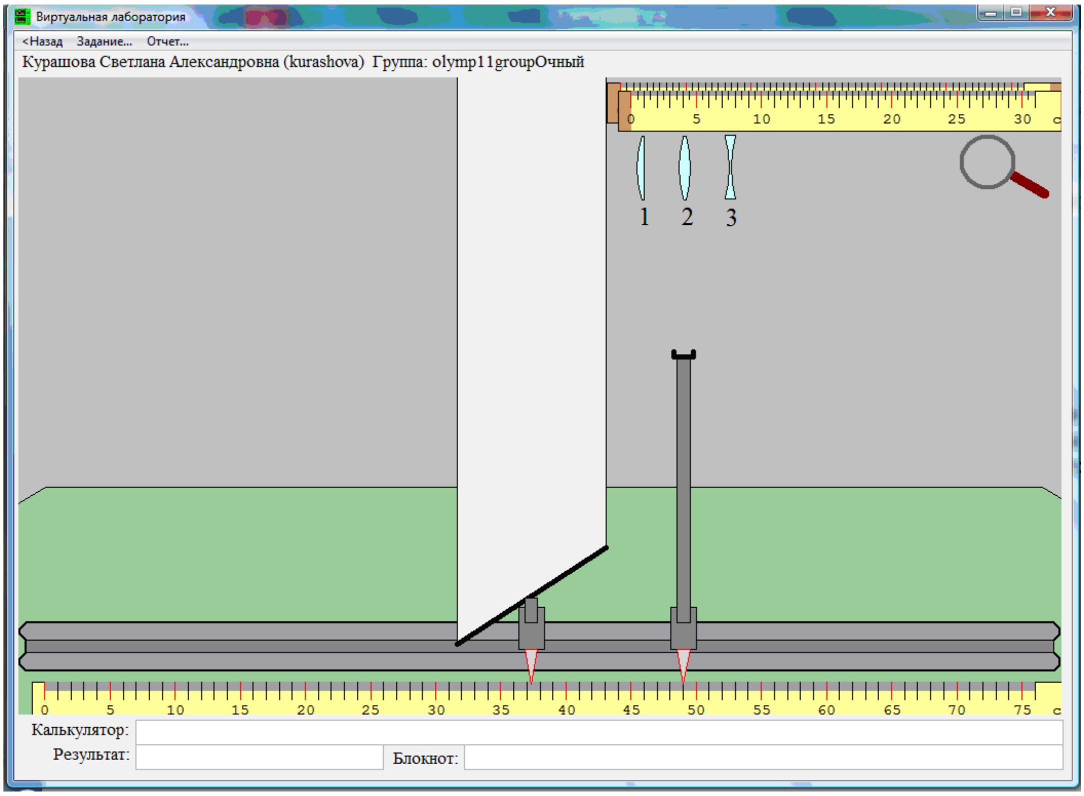
2.3. Олимпиада, модель: Параметры линз и источника света (20 баллов). Очный тур, задание 4, 10 класс и задание 5, 11 класс

Найдите с максимальной возможной точностью:

- положение d относительно начала шкалы источника света (светящейся стрелки), находящейся за пределами экрана;
- фокусное расстояние f1 линзы 1;
- фокусное расстояние f2 линзы 2;
- фокусное расстояние f3 линзы 3.

Ответы вводите с точностью до сотых.

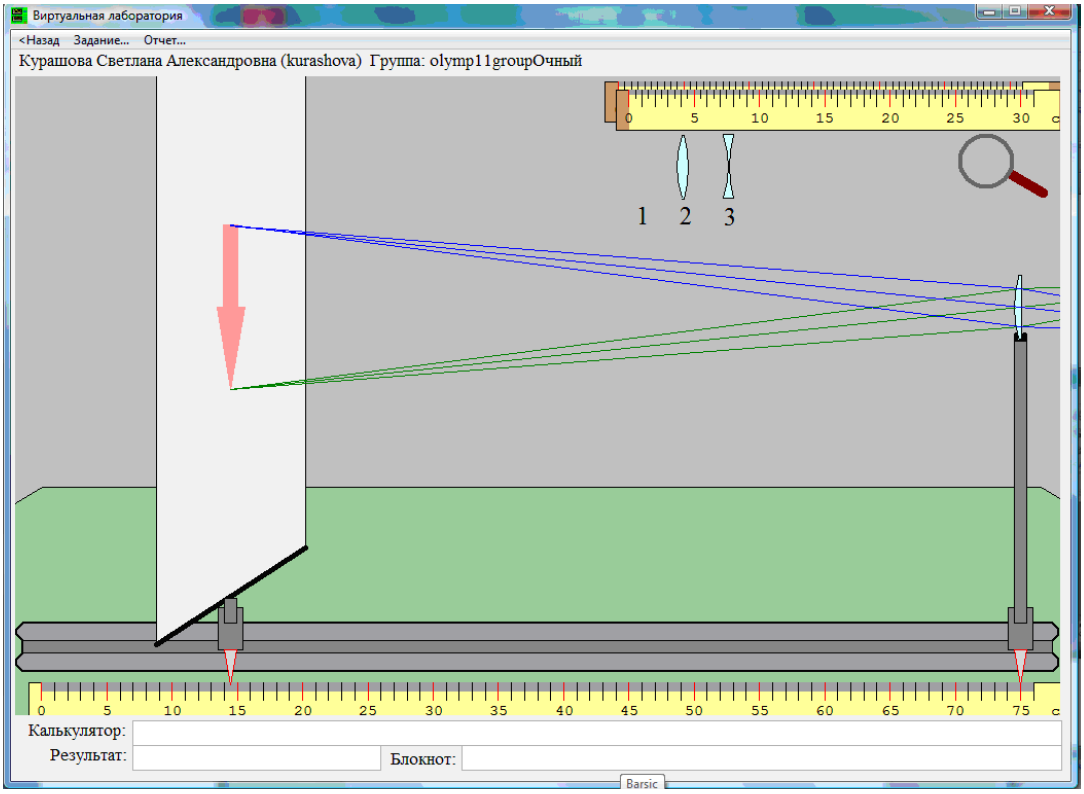
Увеличительное стекло позволяет увеличивать изображение выбранной области окна. Нажатие мышью в любой части того же окна восстанавливает первоначальный масштаб. Задание возможно переделывать, но за повторные попытки начисляется до 4 штрафных баллов.



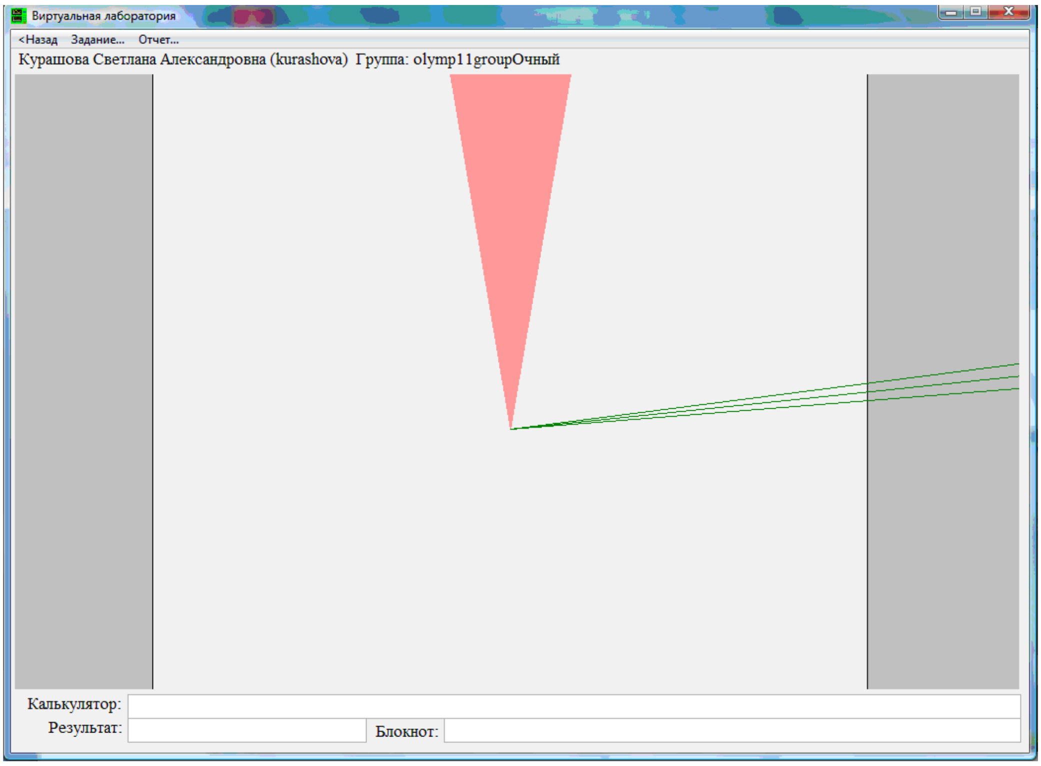
Решение.

Линза 1.

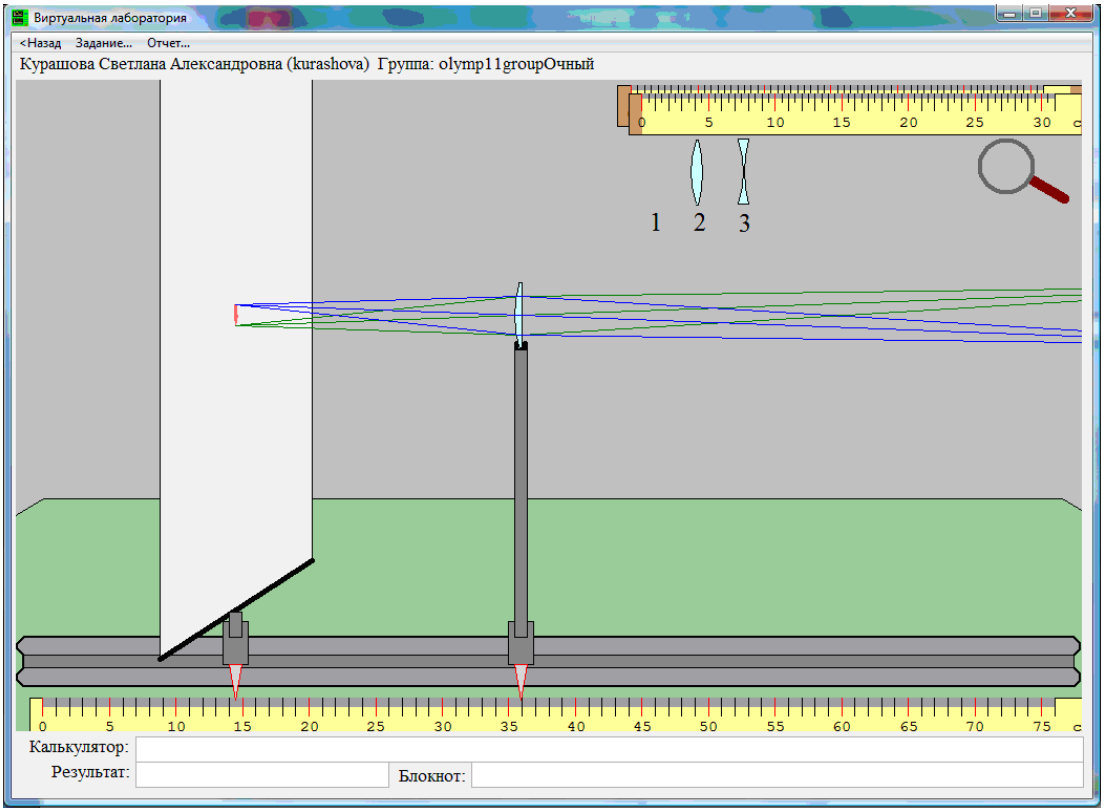
Установим на подставку линзу 1.

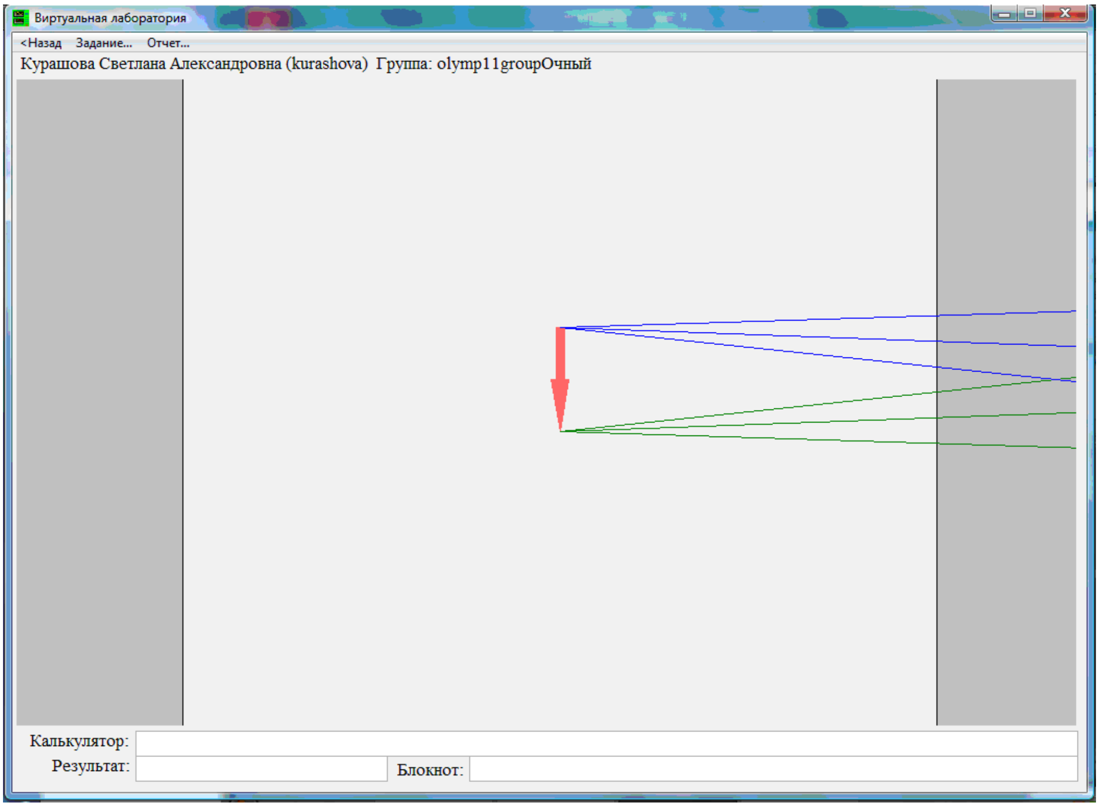


Заметим, что для этой линзы в видимой области при неизменном положении экрана существуют два положения, когда получаются уменьшенное и увеличенное изображения источника. Для того, чтобы определить, когда изображение чёткое, воспользуемся лупой. Обратите внимание, лучи одного цвета сходятся в точку.



Измерим для каждого из случаев координаты линзы и экрана.





Согласно формуле тонкой линзы,

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}, \tag{13}$$

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}. \quad (14)$$

Поскольку мы не перемещали экран и источник,

$$d_1 + f_1 = d_2 + f_2 = L. \quad (15)$$

Уравнения (13), (14) и (15) справедливы, когда

$$d_1 = f_2\,, \quad (16)$$

$$d_2 = f_1. \quad (17)$$

Согласно нашим измерениям

$$f_1 = 75.0 - 14.5 = 60.5\ см, \quad (18)$$

$$f_2 = 35.9 - 14.5 = 21.4\ см\,. \quad (19)$$

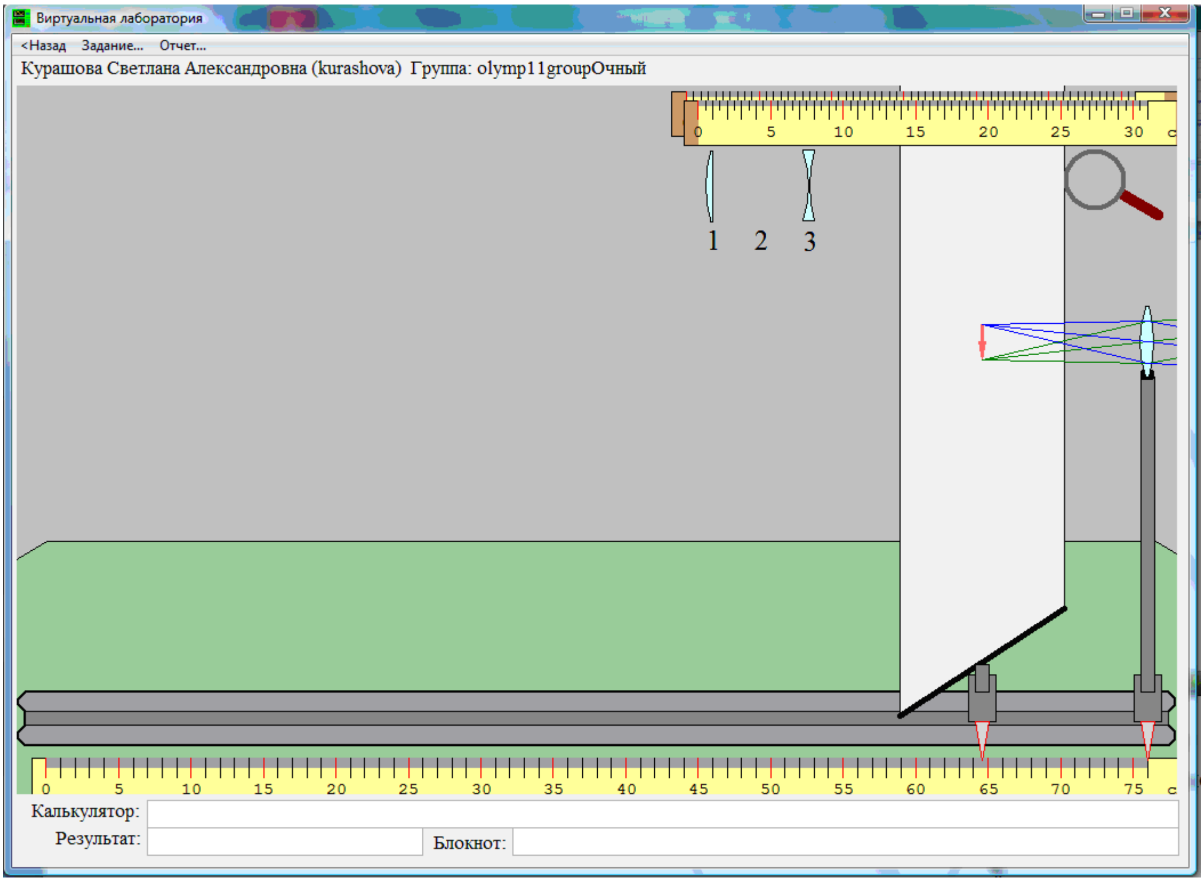
Для того, чтобы найти координату источника, необходимо к координате линзы в первом случае добавить $d_1 = f_2 = 21.4\ см$, $d = 75.0 + 21.4 = 96.4\ см.$

В соответствии с (13), (16),(19) и (18), определяем фокусное расстояние первой линзы:

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{21.4} + \frac{1}{60.5}\,,\ F_1 = 15.8\ см.$$

Определить d и F_1 можно было и просто, получив два изображения и решив систему из двух уравнений для тонкой линзы с двумя неизвестными.

Линза 2.

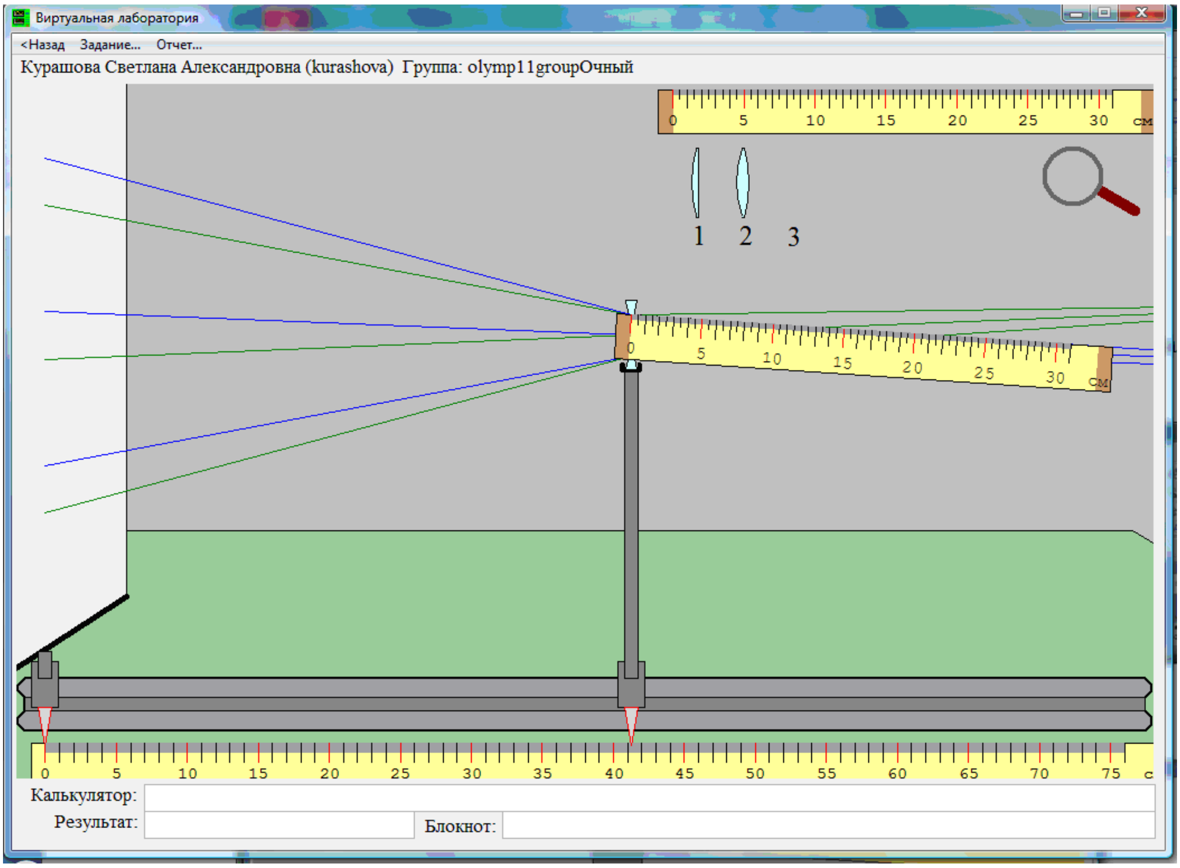


Добъёмся чёткого изображения источника на экране и по формуле тонкой линзы вычислим F_2 Удобно проводить измерения при наибольшем из возможных размере изображения, так мы добъёмся минимальной погрешности $\frac{\vartriangle f}{f}$.

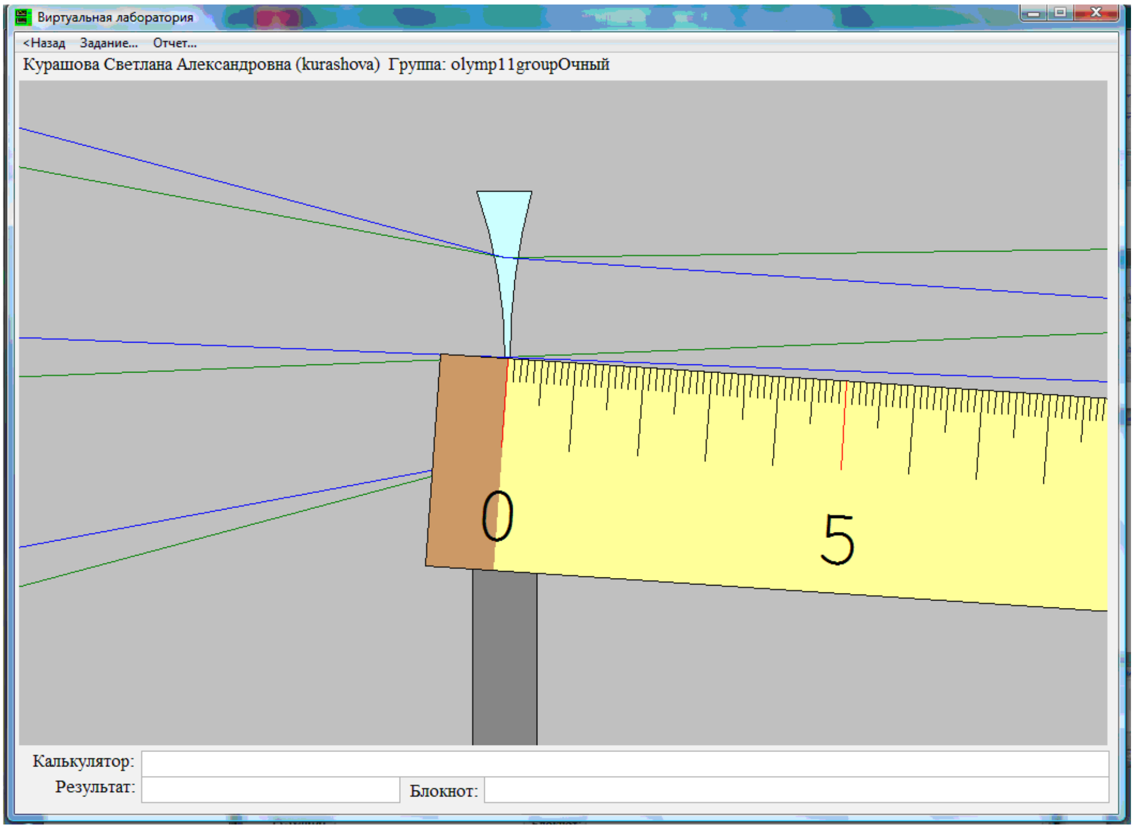
$$\frac{1}{F_2}=\frac{1}{d_3}+\frac{1}{f_3}=\frac{1}{22}+\frac{1}{11,4},\ F_2=7,5\ см.$$

Рассеивающая линза.

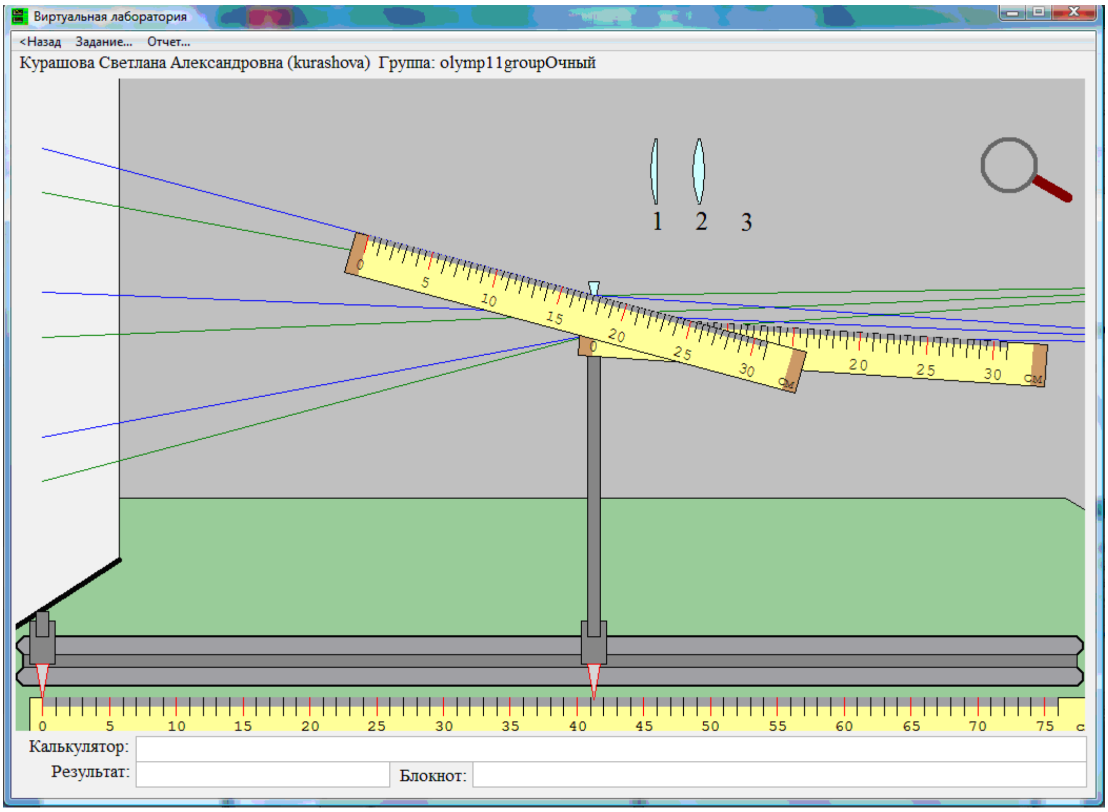
Выставляем рассеивающую линзу в центр рабочего поля, располагаем линейку вдоль падающего на линзу луча.



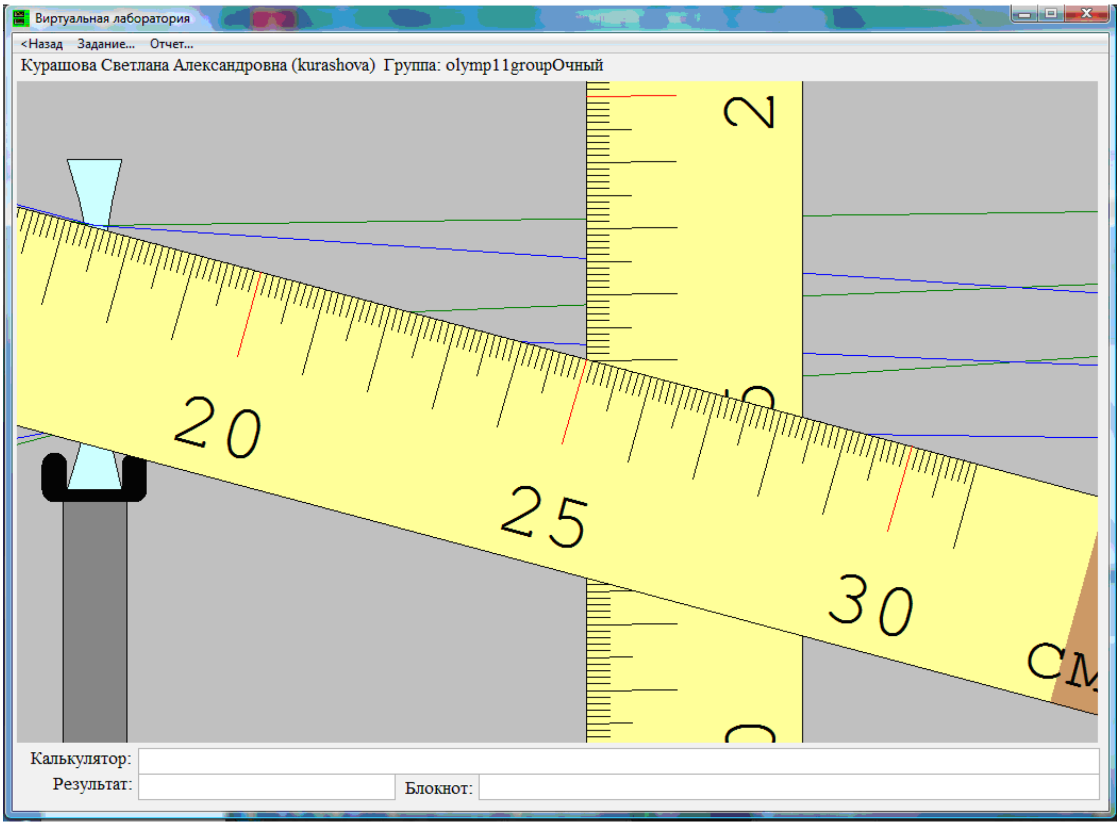
Перемещаем её параллельно самой себе до оптического центра линзы. Теперь она играет роль побочной оптической оси для рассматриваемого луча.



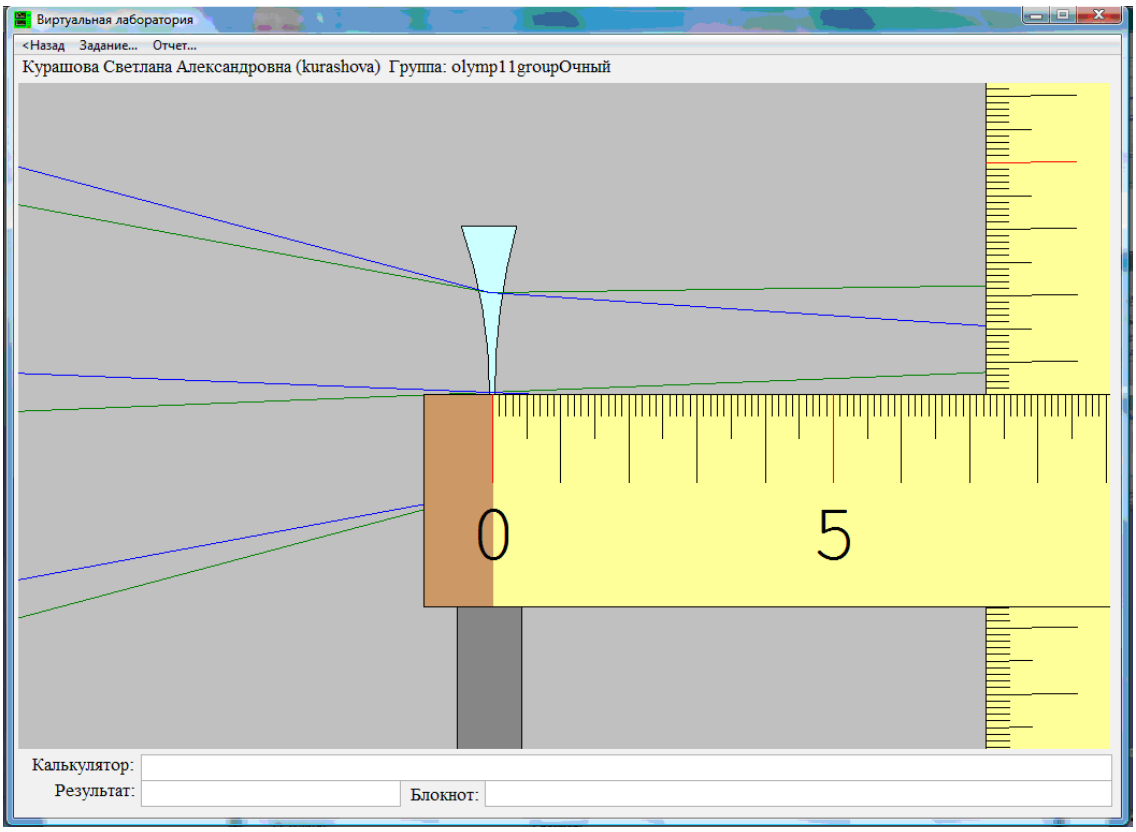
При помощи второй линейки находим точку пересечения продолжения луча и его побочной оптической оси. Это пересечение лежит в фокальной плоскости линзы. Поставим в эту точку заметное деление линейки. В данном случае 25см.



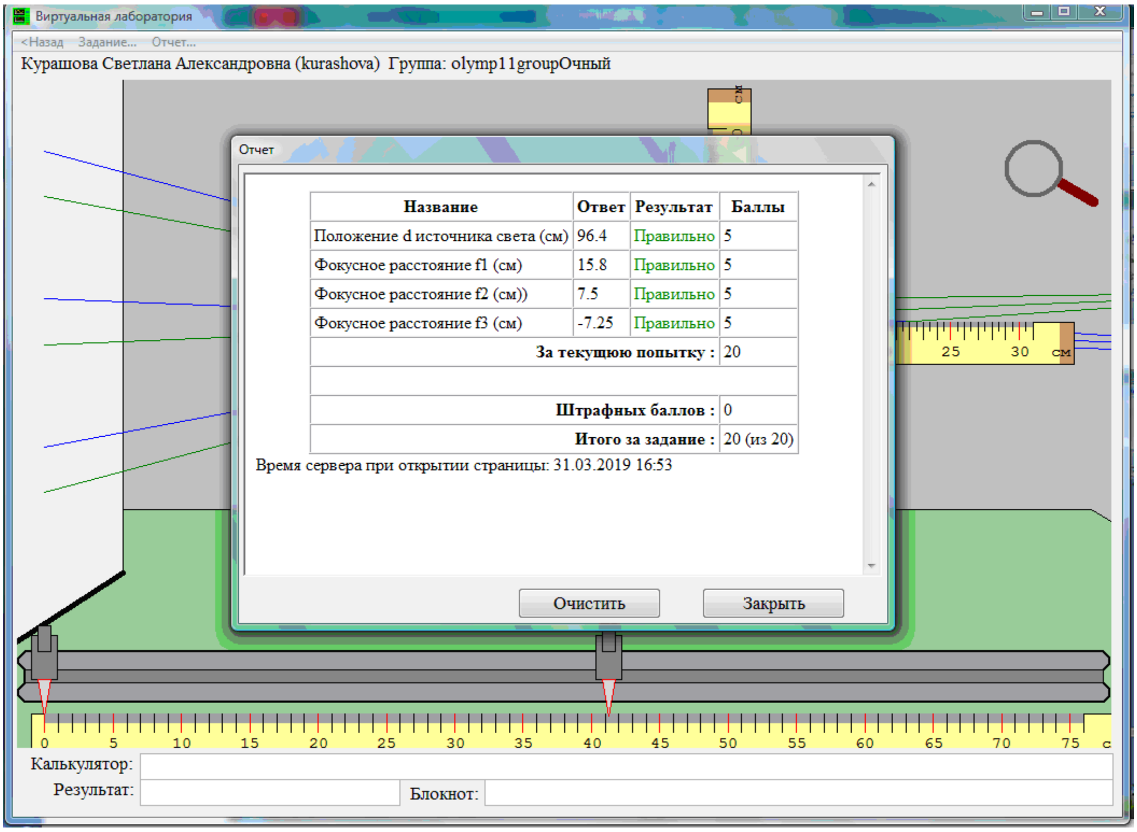
Нижнюю линейку выставляем вертикально через найденную точку пересечения. Теперь она играет роль фокальной плоскости линзы.



Измеряем по горизонтали расстояние от оптического центра линзы до фокальной плоскости, поскольку линза рассеивающая, в ответ это значение вводим со знаком “минус”.



$F_3 = -7.25см.$



2.4. Олимпиада, модель: Схема с пятью впаянными резисторами (20 баллов). Очный тур, задание 6, 11 класс

Имеется электрическая схема из впаянных в наборную панель пяти резисторов R1, R1, R2, R3, R4 и мультиметра, в которой можно подсоединяться только к их внешним клеммам. Найдите с точностью до десятых, чему равны сопротивления R1, R2, R3, R4. Соберите для этого необходимые электрические схемы, проведите измерения и выполните расчеты. Занесите результаты в отчёт и отошлите его на сервер. Задание возможно переделывать, но за повторные попытки начисляется до 4 штрафных баллов.

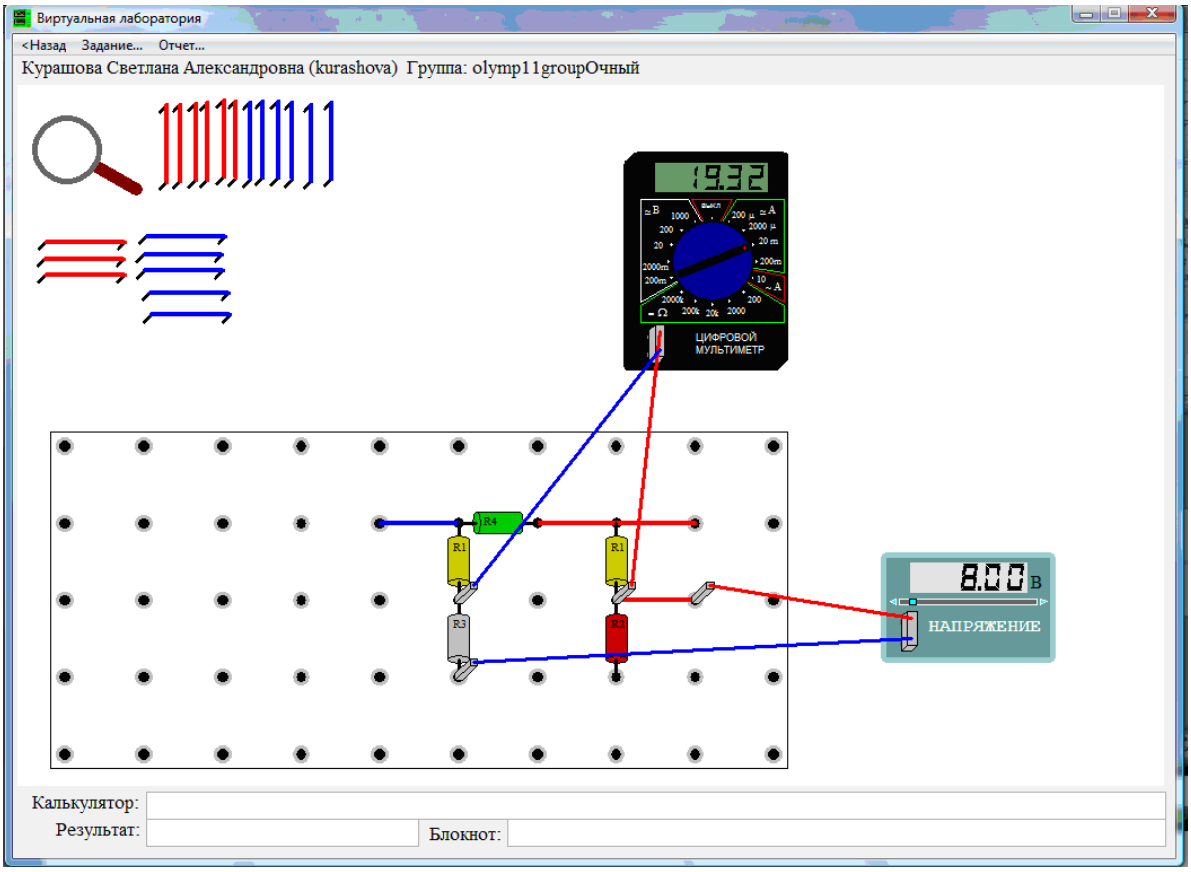
Комбинация клавиш Ctrl-C — копирование выделенной строки в буфер обмена. Комбинация клавиш Ctrl-V — вставка данных из буфера обмена.

К клеммам можно подсоединять провода, имеющие практически нулевое сопротивление. Провода можно растягивать. Выходное напряжение источника напряжения можно менять перетаскиванием движка или щелчками по треугольникам по краям шкалы. Внутреннее сопротивление мультиметра в режиме вольтметра можно считать бесконечно большим, а в режиме измерения тока — пренебрежимо малым.

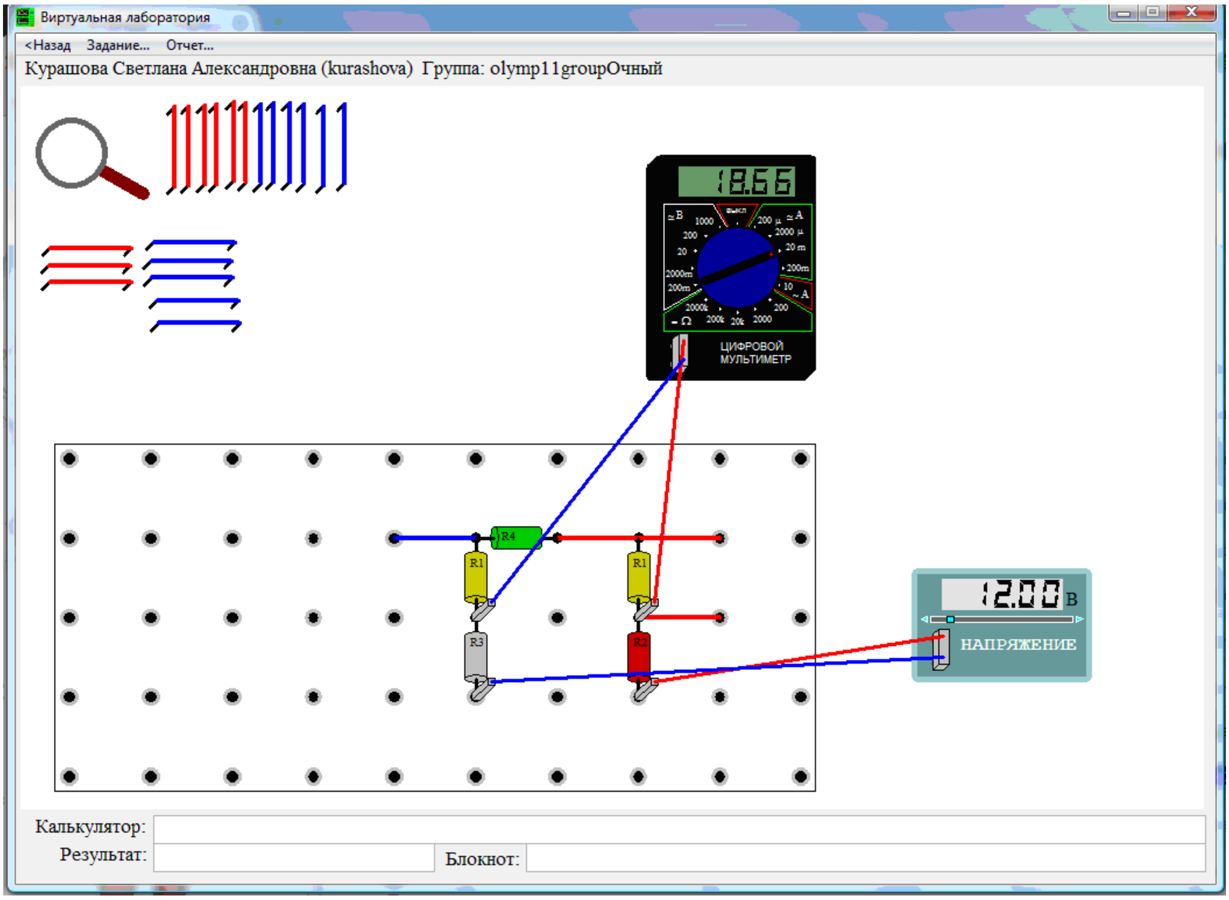
Мультиметр — измерительный прибор, позволяющий измерять токи, напряжения и сопротивления — в данном задании доступно только измерение напряжений и токов. При превышении величины максимального значения для выбранного диапазона на индикаторе появляется сообщение об ошибке измерения. Буква μ у диапазона мультиметра означает «микро», буква m — «милли». Тип измеряемой величины и предел измерительной шкалы мультиметра меняется с помощью поворота ручки.

Решение.

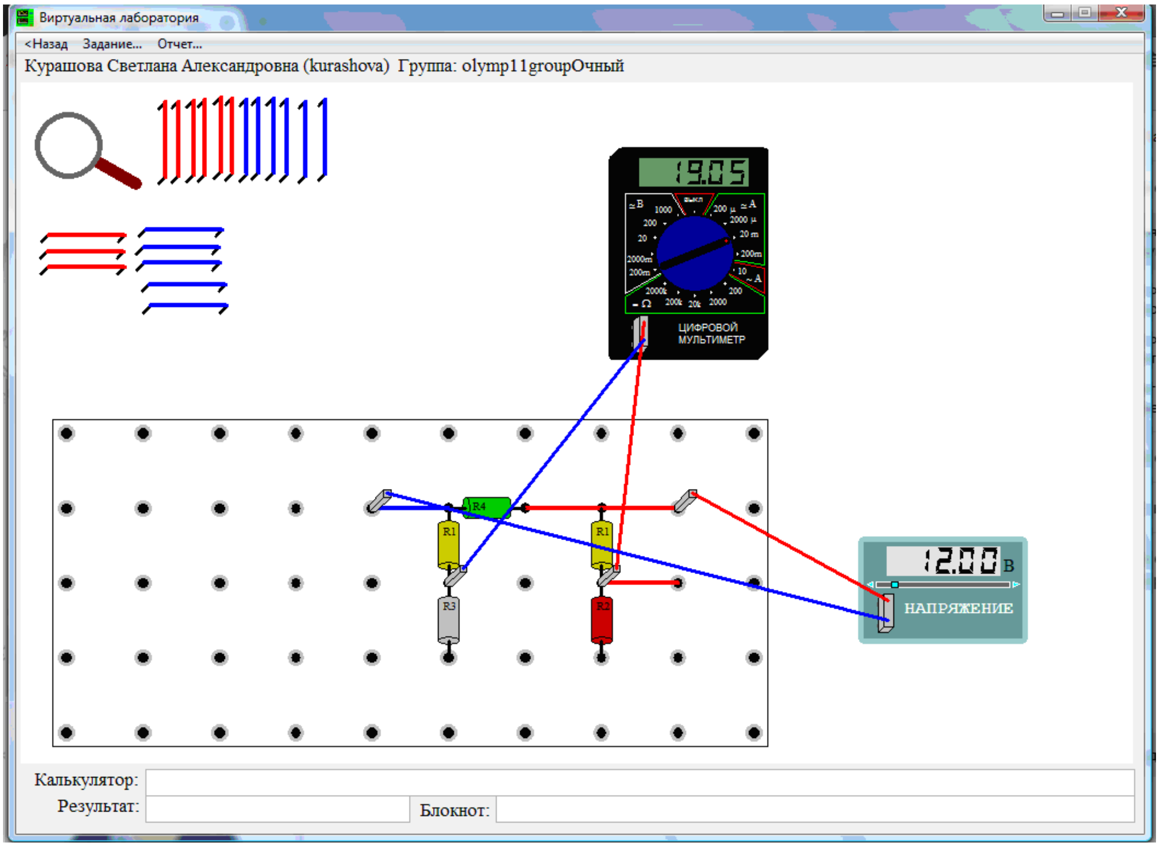
Амперметр имеет нулевое сопротивление, поэтому, если он подключён параллельно какой-то ветви схемы, ток идёт только через него. Участок схемы оказывается закороченным. Напряжение на источнике выбираем таким, чтобы получить максимально возможный ток в режиме, когда видны 4 значащие цифры.



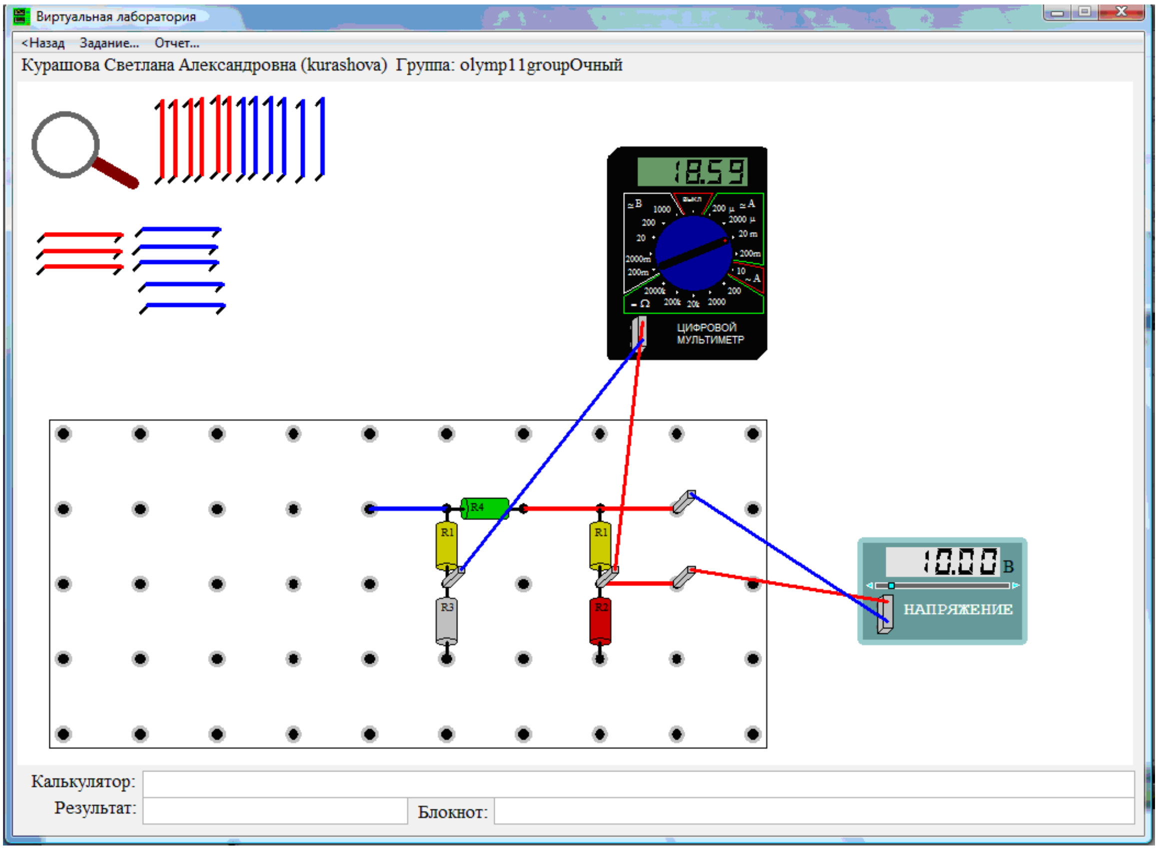
$$R_3 = \frac{8.00 \cdot 1000}{19.32} = 414.0786 \quad Ом.$$



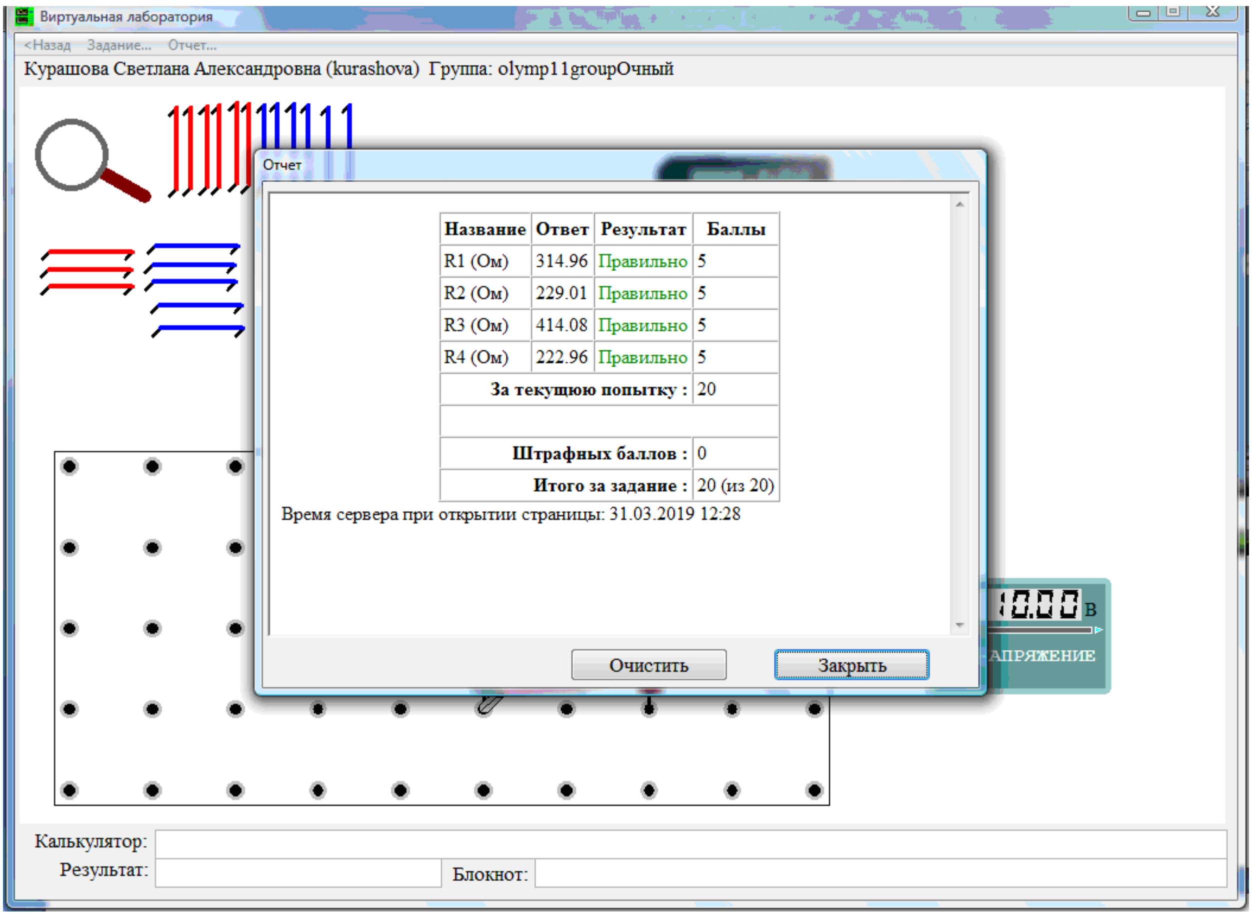
$$(R_3 + R_2)\cdot 18.66\cdot 10^{-3} = 12.00 \ \ , R_2 = 229.008 \ Ом.$$



$$2R_1 \cdot 19.05 \cdot 10^{-3} = 12.00 \quad , \; R_1 = 314.961 \; Ом.$$



$$\left(R_1 + R_4\right) \cdot 18.59 \cdot 10^{-3} = 10.00 \quad , \; R_4 = 222.964 \; Ом.$$



2.5. Эксперименты с батарейками и лампочками (20 баллов).

Очный тур, задание 4, 11 класс

Известно, что в процессе эксплуатации батарейки её ЭДС практически не изменяется, а внутреннее сопротивление растёт от пренебрежимо малого до очень большого. На уроке биологии нужно было подсветить одной лампочкой предметный столик, а второй — шкалу микроскопа. Два школьника решили так использовать батарейки, чтобы яркость лампочек всё время была максимально возможной. Для этого они собирали из имеющихся элементов необходимые электрические схемы. У них в распоряжении было две одинаковые новые батарейки с ЭДС =10.9 В, две одинаковые лампочки подходящей мощности с внутренним сопротивлением R=15.9 Ом, провода с ничтожно малым сопротивлением и амперметр, сопротивлением которого также можно пренебречь. Определите:

- какой ток I тёк в лампочке в момент, когда стало необходимо в первый раз изменить электрическую схему;
- суммарную потерю мощности P1 в батарейках в этот момент;
- какую мощность P потребляла каждая лампочка в момент, когда во второй раз пришлось изменить схему;
- до какого значения R2 возросло сопротивление одной батарейки в конце того интервала, где сразу три варианта схемы одинаково хорошо позволяли выполнить поставленное условие.

Ответы вводите с точностью до сотых.

Введите ответ:

Ток в лампочке в момент, когда в первый раз пришлось изменить схему, I= 0.46 А
Суммарная потеря мощности в батарейках в этот момент, P1= 13.28 Вт
Мощность, потребляемая лампочкой, когда во второй раз пришлось изменить схему, P= 0.83 Вт
Сопротивление R2= 31.80 Ом

Решение.
При малом сопротивлении батареек максимальный ток, в каждой из лампочек можно получить, соединяя их по схеме 1.

$$I_1 = \frac{1}{2}\frac{2\mathcal{E}}{2r + R/2}.$$

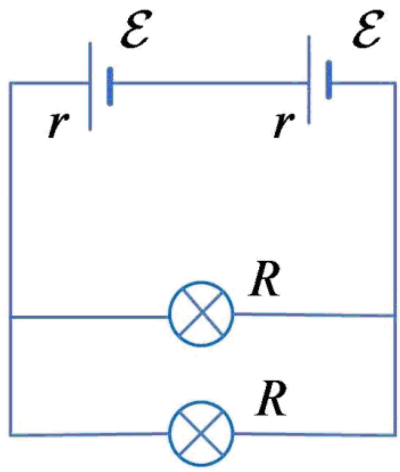


схема 1

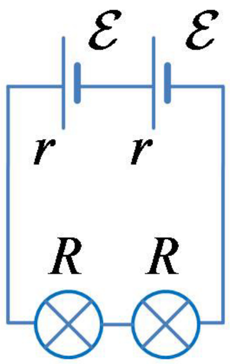


схема 2

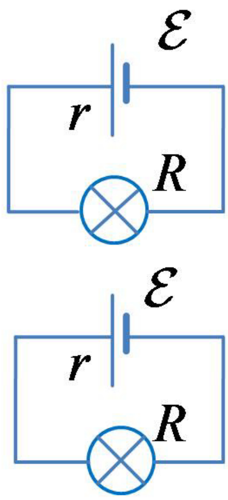


схема 3

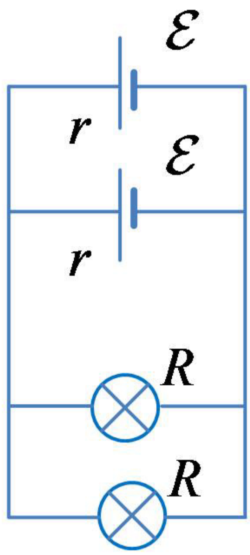


схема 4

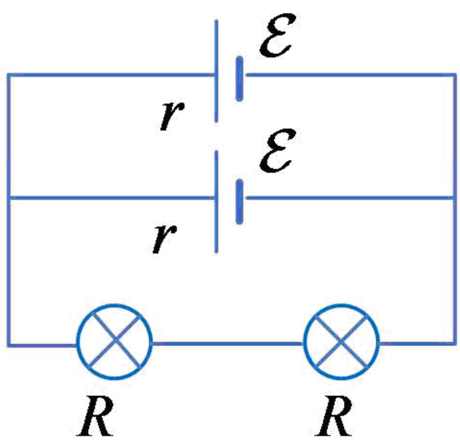


схема 5

При увеличении сопротивления батарейки одинаковую полезную мощность позволяют получить сразу три схемы — 2, 3 и 4. Сила тока в каждой лампочке при таком соединении

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{r+R}.$$

Изменить схему в первый раз нужно будет, когда I_2 окажется больше I_1, т.е. при $r = R/2$.

При дальнейшем увеличении сопротивления батареек приходится переходить к схеме 5. Ток в каждой лампочке будет равен

$$I_3 = \frac{\mathcal{E}}{r/2 + 2R}.$$

Изменить схему во второй раз нужно будет, когда I_3 окажется больше I_2, т.е. при $r = 2R$.

1. Первый раз схему меняют при $r = R/2$, в лампочке течёт ток

$$I = \frac{1}{2}\frac{2\mathcal{E}}{2r + R/2} = \frac{2\mathcal{E}}{3R} = 0.46\ A.$$

2. В момент, когда первый раз пришлось поменять схему, сопротивление каждой батарейки $r = R/2$. Суммарная потеря мощности в батарейках составляла

$$P_1 = 4\frac{\mathcal{E}^2 2R/2}{(2r + R/2)^2} = \frac{16\mathcal{E}^2}{9R} = 13.28\ Вт.$$

3. Когда во второй раз пришлось поменять схему,сопротивление батарейки $r = 2R$ каждая лампочка потребляла мощность

$$P = \frac{\mathcal{E}^2}{9R} = 0.83\ Вт.$$

4. В интервале, когда оптимальными были схемы 2, 3 и 4, сопротивление батареек увеличилось от R/2 до 2R. Максимальное сопротивление батарейки

$$R_{\max} = 2R = 31.8\ Ом.$$